数控机床PMC

设计典例

龚仲华　编著



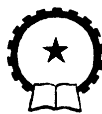
机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

VISIT…

LANZAROTE Caliente.COM

数控机床 PMC 设计典例

龚仲华　编著



机 械 工 业 出 版 社

本书紧跟数控机床技术发展前沿，借鉴国外先进产品的设计经验，全面阐述了数控机床 PMC 程序的设计方法，提供了丰富的 PMC 程序实例。

全书根据数控机床的实际控制要求，结合 FANUC 系统的 PMC 性能特点，在介绍 PMC 基础知识、编程指令的基础上，针对机床操作面板、数控车床换刀、加工中心换刀、主轴控制等 PMC 程序设计的重点和难点问题，就 PMC 程序的编程要求、设计思路和实现方法，进行了完整、系统、深入的介绍，并提供了大量设计科学、应用典型、实用性强的程序实例。

本书内容先进、选材典型、案例丰富，理论联系实际，面向工程应用，是数控机床电气设计、调试、维修人员和高等学校师生的优秀参考书。

图书在版编目（CIP）数据

数控机床 PMC 设计典例/龚仲华编著. —北京：机械工业出版社，2015.1

ISBN 978-7-111-48905-4

Ⅰ.①数… Ⅱ.①龚… Ⅲ.①数控机床-程序设计 Ⅳ.①TG659

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2014）第 296439 号

机械工业出版社（北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037）
策划编辑：徐明煜 责任编辑：徐明煜 闾洪庆 版式设计：常天培
责任校对：张玉琴 封面设计：路恩中 责任印制：李 洋
三河市宏达印刷有限公司印刷
2015 年 2 月第 1 版第 1 次印刷
184mm×260mm · 19.25 印张 · 470 千字
0001—3000 册
标准书号：ISBN 978-7-111-48905-4
定价：59.90 元

凡购本书，如有缺页、倒页、脱页，由本社发行部调换

电话服务 网络服务
服务咨询热线：（010）88361066 机 工 官 网：www.cmpbook.com
读者购书热线：（010）68326294 机 工 官 博：weibo.com/cmp1952
（010）88379203 教育服务网：www.cmpedu.com
封面无防伪标均为盗版 金 书 网：www.golden-book.com

前　言

数控机床是一种综合应用了计算机控制、精密测量、精密机械、气动、液压、润滑等技术的典型机电一体化产品，是现代制造技术的基础。当前，数控机床已成为企业的主要加工设备，在机械加工各领域得到了极为广泛的应用。

数控机床的电气设计主要包括硬件（电路设计）和软件（PMC 程序设计）两方面。前者已在机械工业出版社出版的《数控机床电气设计典例》（龚仲华编著，2014 年 7 月）一书中进行全面阐述，本书是对后者的系统介绍。

数控系统集成 PMC 的程序设计事关 CNC 功能应用、机床动作、安全可靠运行等诸多方面，它是数控机床电气设计的重要内容，也是数控机床调试、维修人员必备的基本技能。虽然数控机床的 PMC 程序设计无规定的格式，但由于同类机床的控制要求、同类 CNC 的功能和信号类似，借助典型程序可大大提高设计效率和程序可靠性。本书根据数控机床的实际控制要求和 FANUC-PMC 的特点，介绍了 PMC 基础知识和编程指令，对机床操作面板、数控车床换刀、加工中心换刀、主轴控制等 PMC 程序设计的重点内容进行了系统、详尽的阐述，并提供了丰富的 PMC 程序实例。本书可为从事数控机床电气设计、维修的专业技术人员提供参考。

第 1 章介绍了数控机床、数控原理和数控系统的一般概念。

第 2 章叙述了 PLC（PMC）的一般原理与组成，介绍了 PLC 梯形图编程的一般方法，提供基本梯形图程序典例。

第 3 章介绍了 FANUC 系统 PMC 程序设计的基本格式、PMC-CNC 接口信号、PMC 编程指令。

第 4 章阐述了各类机床操作面板的 PMC 程序设计方法和程序典例，内容包括操作方式选择、手动进给控制、自动运行控制、倍率开关转换、用户面板控制等。

第 5 章阐述了各类数控车床自动换刀程序的设计方法和程序典例，内容包括辅助功能处理程序设计的基本要求，电动刀架、液压刀架、高速刀架的 PMC 控制程序等。

第 6 章阐述了各类加工中心自动换刀程序的设计方法和程序典例，内容包括刀库移动式换刀、主轴移动式换刀、凸轮机械手换刀、液压机械手换刀等。

第 7 章介绍了各类数控机床主轴控制程序的设计方法和程序典例，内容包括主轴速度控制、传动级交换、主轴定向与定位、刚性攻螺纹等。

目　录

前言
第 1 章　数控机床与系统 …… 1
1.1　机床与数控 …… 1
1.1.1　机床及控制 …… 1
1.1.2　数控与数控机床 …… 3
1.2　常见数控机床 …… 5
1.2.1　车削类数控机床 …… 5
1.2.2　镗铣类数控机床 …… 8
1.3　数控原理与系统 …… 13
1.3.1　数控系统组成 …… 13
1.3.2　数控加工原理 …… 15
1.3.3　普及型与全功能型 CNC …… 17
1.3.4　开环与闭环伺服系统 …… 20
1.3.5　通用伺服和专用伺服 …… 22
第 2 章　PLC 设计基础 …… 25
2.1　PLC 组成与原理 …… 25
2.1.1　PLC 特点与功能 …… 25
2.1.2　PLC 组成与结构 …… 28
2.1.3　PLC 工作原理 …… 32
2.2　梯形图程序设计 …… 35
2.2.1　PLC 编程语言 …… 35
2.2.2　梯形图编程 …… 38
2.2.3　典型梯形图程序 …… 40
2.3　梯形图程序设计要点 …… 45
2.3.1　梯形图不能实现的电路 …… 45
2.3.2　继电器不能实现的程序 …… 47
2.3.3　梯形图程序的优化 …… 50
第 3 章　FANUC-PMC 编程 …… 53
3.1　FANUC 系统简介 …… 53
3.1.1　发展概况 …… 53
3.1.2　当前产品 …… 54
3.1.3　FS-0iD 主要功能 …… 57
3.1.4　PMC 基本性能 …… 61
3.2　PMC 编程说明 …… 63
3.2.1　程序基本格式 …… 63
3.2.2　CNC-PMC 接口信号 …… 67
3.2.3　功能指令与编程 …… 71
3.3　常用指令及编程 …… 75
3.3.1　定时和计数指令 …… 75
3.3.2　回转控制指令 …… 78
3.3.3　数据比较、译码、传送类指令 …… 80
3.4　逻辑和算术运算指令 …… 87
3.4.1　逻辑运算指令 …… 87
3.4.2　算术运算指令 …… 89
3.5　子程序与程序跳转 …… 92
3.5.1　子程序设计 …… 92
3.5.2　跳转程序设计 …… 95
3.6　数据表操作指令 …… 98
3.6.1　数据检索 …… 98
3.6.2　数据传送 …… 101
3.7　其他功能指令 …… 103
3.7.1　文本显示 …… 103
3.7.2　CNC 数据读写 …… 105
3.7.3　PMC 轴控制 …… 108
第 4 章　操作面板控制程序典例 …… 112
4.1　FANUC 面板程序设计 …… 112
4.1.1　FANUC 面板简介 …… 112
4.1.2　PMC 程序设计要求 …… 115
4.2　操作方式选择程序典例 …… 118
4.2.1　程序设计要求 …… 118
4.2.2　MD4/MD2/MD1 控制程序 …… 120
4.2.3　DNC/REF 及指示灯程序 …… 121
4.3　手动进给控制程序典例 …… 124
4.3.1　程序设计要求 …… 124
4.3.2　程序设计典例 …… 128
4.4　自动运行控制程序典例 …… 130
4.4.1　程序设计要求 …… 130
4.4.2　程序设计典例 …… 133
4.5　FANUC 子面板程序典例 …… 135
4.5.1　程序设计要求 …… 135
4.5.2　倍率开关代码转换 …… 137
4.5.3　程序设计典例 …… 139



4.6 用户面板控制程序典例 …… 141
4.6.1 用户面板设计 …… 141
4.6.2 面板基本程序典例 …… 144
4.6.3 倍率调节程序典例 …… 146
4.6.4 倍率升降控制程序典例 …… 148
第5章 数控车床换刀程序典例 …… 153
5.1 辅助功能处理程序设计 …… 153
5.1.1 辅助功能说明 …… 153
5.1.2 辅助功能处理 …… 154
5.1.3 PMC 程序设计要点 …… 156
5.2 电动刀架控制程序 …… 158
5.2.1 程序设计要求 …… 158
5.2.2 PMC 程序典例 …… 160
5.3 液压刀架控制程序 …… 164
5.3.1 程序设计要求 …… 164
5.3.2 PMC 程序典例 …… 166
5.4 高速刀架控制程序 …… 171
5.4.1 程序设计要求 …… 171
5.4.2 PMC 程序典例 …… 174
第6章 加工中心换刀程序典例 …… 179
6.1 刀库移动式换刀控制 …… 179
6.1.1 程序设计要求 …… 179
6.1.2 T 代码处理程序典例 …… 184
6.1.3 M 代码处理程序典例 …… 187
6.2 主轴移动式换刀控制 …… 192
6.2.1 程序设计要求 …… 192
6.2.2 用户宏程序设计典例 …… 196
6.2.3 PMC 程序设计典例 …… 198
6.3 凸轮机械手换刀控制 …… 201
6.3.1 程序设计要求 …… 201
6.3.2 随机刀具表的建立 …… 207
6.3.3 刀具预选程序典例 …… 209
6.3.4 机械手换刀程序典例 …… 213
6.4 液压机械手换刀控制 …… 220
6.4.1 自动换刀控制要求 …… 220
6.4.2 PMC 程序设计要求 …… 224
6.4.3 刀具预选程序典例 …… 226
6.4.4 换刀宏程序典例 …… 230
6.4.5 机械手换刀程序典例 …… 232
第7章 主轴控制程序典例 …… 236
7.1 主轴控制要求 …… 236
7.1.1 车削加工数控机床 …… 236
7.1.2 镗铣加工数控机床 …… 238
7.1.3 模拟主轴和串行主轴 …… 239
7.2 主轴速度控制程序典例 …… 242
7.2.1 速度控制要求 …… 242
7.2.2 模拟主轴速度控制程序 …… 245
7.2.3 串行主轴速度控制程序 …… 248
7.3 传动级交换程序典例 …… 250
7.3.1 功能说明 …… 250
7.3.2 T 型换档程序典例 …… 252
7.3.3 M 型换档程序典例 …… 257
7.4 主轴定向与定位程序典例 …… 261
7.4.1 功能说明 …… 261
7.4.2 机械定向程序典例 …… 263
7.4.3 串行主轴定向程序典例 …… 264
7.4.4 串行主轴定位程序典例 …… 267
7.4.5 FS-0iTD 主轴定向程序典例 …… 272
7.4.6 FS-0iTD 主轴定位程序典例 …… 276
7.5 刚性攻螺纹程序典例 …… 282
7.5.1 功能与要求 …… 282
7.5.2 模拟主轴程序典例 …… 283
7.5.3 串行主轴程序典例 …… 286
附录 FS-0iD 接口信号总表 …… 290

第 1 章

数控机床与系统

1.1 机床与数控

1.1.1 机床及控制

1. 机床

数控技术的诞生源自于机床。机床是对金属或其他材料的坯料、工件进行加工，使之获得所要求的几何形状、尺寸精度和表面质量的机器，是机械制造业的主要加工设备。机床用来制造机器零件，它是制造机器的机器，故又称为工作母机。没有机床就不能制造机器，没有机器就不能生产工业产品，就谈不上发展经济，因此，机床是国民经济基础的基础。没有好的机床就制造不出好的机器，就生产不出好的产品，所以，机床的水平是衡量一个国家制造业水平、现代化程度和综合实力的重要标志。

由于加工方法、零件材料的不同，机床可分为金属切削机床、金属成型机床、木材加工机床、塑料成型机床等多种类型。金属成型机床是利用压力对坯料进行锻造、挤压、冲裁、剪切、弯曲等加工，使坯料获得所要求形状的机床，其生产效率极高，可用于大批量生产，但零件的尺寸精度和表面质量较难保证。木材加工机床、塑料成型机床多用于日常生活用品的生产，它同样具有高效、大批量生产的特点，但其零件的尺寸精度和表面质量一般低于金属切削机床。

金属切削机床是利用刀具或其他手段（如电加工、激光加工）去除坯料上的多余金属，从而得到具有一定形状、尺寸精度和表面质量工件的加工设备，它在工业企业中使用最广、数量最多，它是数控技术应用最为广泛的领域。按照我国最新的 GB/T 15375—2008 机床分类标准，利用刀具进行加工的钻镗铣类、车削类、磨削类、齿轮加工类、螺纹加工类、刨插拉锯加工类机床归属于金属切削机床；而利用其他手段加工的电加工类、激光加工类、超声波类、水切割类等归属于特种加工机床。

2. 机床的控制

数控最初是为解决金属切削机床控制问题而研发的一种技术。在金属切削机床上，为了能够完成零件的加工，机床一般需要进行以下三方面的控制。

（1）动作顺序控制

机床对零件的加工一般需要有多个加工动作，加工动作的顺序有规定的要求，称为工序，复杂零件的加工可能需要几十道工序才能完成。因此，机床的加工过程，需要根据工序

的要求，按规定的顺序进行。

以图 1-1 所示的简单攻丝机为例，为了完成攻螺纹动作，攻丝机需要按照图 1-1b 所示的丝锥向下接近工件→丝锥正转向下加工螺纹→丝锥反转退出→丝锥离开工件 4 步进行。

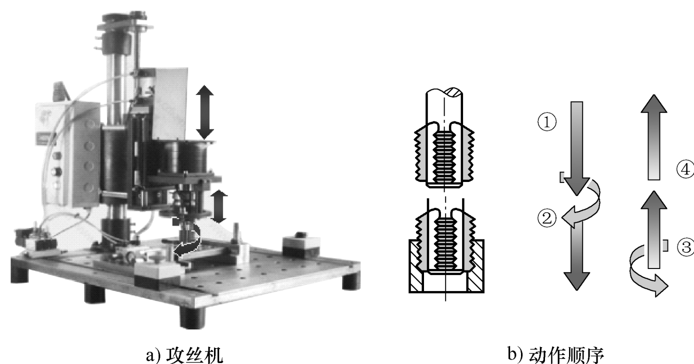


图 1-1　动作的顺序控制

机床的动作顺序控制只需要根据加工的动作顺序表，如电磁元件动作表等，按要求依次通断液压、气动、电动机等执行元件便可，因此，它属于开关量控制的范畴，即使利用传统的继电器-接触器控制系统也能实现，而 PLC（可编程序控制器）的出现，更是使之变得十分容易。

（2）切削速度控制

在使用刀具进行加工的金属切削机床上，为了提高加工效率和得到要求的表面加工质量，应根据刀具和零件的材料、表面质量的要求，来确定刀具与工件的相对运动速度（切削速度），即使对于同样材质的刀具和零件，加工时也需要根据刀具的直径，改变其转速，以保证其切削速度的不变。

改变切削速度既可通过机械变速齿轮箱、带传动等方法实现，也可使用电气传动改变电动机的转速实现，早期的直流调速和现代的交流调速都是机床的电气调速方案。

（3）运动轨迹控制

为了使得零件的形状（轮廓）符合规定的要求，就必须控制刀具相对于工件的运动轨迹。例如，对于图 1-2 所示的叶轮加工，加工时必须同时控制刀具的上下（Z 轴）、叶轮的回转（C 轴）和叶轮中心线的摆动（A 轴），来保证刀具运动轨迹的准确，得到正确的轮廓和形状。

刀具运动轨迹控制不仅包括了刀具的位置、运动速度控制，而且还需要多个方向的运动合成（联动）才能实现，这样的控制只有通过数字控制技术（简称数控技术）才能实现。

因此，机床采用数控技术的根本目的是解决运动轨迹控制的问题，使得机床能够任意改变刀具在平面或空间的移动轨迹，从而将工件加工成所需要的轮廓形状，这既是数控机床与其他机床的本质区别，也是数控的起源。

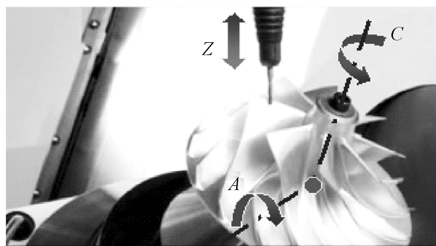


图 1-2　运动轨迹的控制



1.1.2 数控与数控机床

1. 数控的概念

数控（Numerical Control，NC）是利用数字化信息对机械运动及加工过程进行控制的一种方法。数控技术的发展和电子技术的发展保持同步，至今已经历了从电子管、晶体管、集成电路、计算机到微处理机的演变，由于现代数控都采用计算机控制，因此，又称计算机数控（Computerized Numerical Control，CNC）。数字化信息控制必须有相应的硬件和软件，这些硬件和软件的整体称为数控系统（Numerical Control System）。数控系统的核心部件是数控装置（Numerical Controller）。

根据使用场合的不同，数控技术、数控系统、数控装置均可采用 NC 或 CNC 的英文缩写，因此，英文的 NC 和 CNC 一词具有三种不同含义：在广义上代表一种控制方法和技术；在狭义上代表一种控制系统的实体；此外还可特指一种具体的控制装置——数控装置。

利用数控技术来解决金属切削机床的轮廓加工——刀具轨迹的自动控制问题的设想，最初由美国 Parsons 公司在 20 世纪 40 年代末提出。1952 年，Parsons 公司和美国麻省理工学院（Massachusetts Institute of Technology）联合在一台 Cincinnati Hydrotel 立式铣床上安装了一套试验性的数控系统，并成功地实现了三轴联动加工，这是人们所公认的第一台数控机床。到了 1954 年，美国 Bendix 公司在 Parsons 专利的基础上，研制出了第一台工业用的数控机床，随后，数控机床取得了快速发展和迅速普及。

2. 数控机床

采用数控技术进行控制的机床称为数控机床，简称 NC 机床。机床控制是数控技术应用最早、最广泛的领域，数控机床的水平代表了当前数控技术的性能、水平和发展方向。数控机床是一种综合应用了计算机技术、自动控制技术、精密测量技术和机床设计等先进技术的典型机电一体化产品，是现代制造技术的基础。在今天，数控机床业已成为衡量一个国家制造技术水平和国家综合实力的重要标志，人们将数控技术与 PLC 技术、工业机器人、CAD/CAM 技术并称为现代工业自动化的四大支持技术。

数控机床是一个广义上的概念，所有机床都可采用数控技术进行控制，即使是用于特定产品加工的专用机床和生产线，为了增加其加工适应能力（柔性），也可采用数控。但是，需要注意的是，在使用 PLC 控制的机床上，某些运动部件的位置虽然也使用了轴控模块、伺服驱动器进行控制，但在通常情况下，这样的控制只能针对某一运动轴的速度、位置所进行的独立控制，它不能实现多个运动轴间的联动，解决刀具运动轨迹的控制问题，因此，这种机床不能称为数控机床。

在一般工业企业中，金属切削机床的车削类、钻镗铣类机床占绝大多数，因此，它是数控技术应用最为广泛的领域。

车削类机床以工件旋转作为切削主运动，适合于回转体零件的加工，与此类似的机床有内外圆磨削类等，这样的机床需要有轴向（*Z* 轴）和径向（*X* 轴）两个基本运动轴。根据机床的结构和功能，车削类数控机床分为数控车床、车削中心、车铣复合加工中心、多主轴高效加工机床和车削 FMC（柔性制造单元）等。

钻镗铣类机床通过刀具的旋转和空间运动实现切削，与此类似的机床有齿轮加工类、螺纹加工类、工具磨削类等，这样的机床至少需要有 *X*/*Y*/*Z* 三个运动轴。根据机床的结构和

功能，钻镗铣类数控机床分为数控铣床、数控镗铣床、加工中心、铣车复合加工中心、多主轴高效加工中心和 FMC 等。

为此，作为数控机床的基本控制系统，大多数 CNC 生产厂家习惯上将数控系统分为 M 和 T 两个系列产品，M 系列 CNC 至少具备 3 轴（*X/Y/Z*）控制功能，用于钻镗铣类机床控制，如 FANUC-0iMD、SIEMENS-810M、KND1000M 等；T 系列 CNC 至少具备 2 轴（*X/Z*）控制功能，用于车削类机床控制，如 FANUC-0iTD、SIEMENS-810T、KND1000T 等。

但是，随着 CNC 技术的不断进步，车铣复合加工、多主轴高效加工和 FMC 等先进数控机床日益普及，它对数控系统提出了更高的要求，例如，车铣复合加工机床需要有多轴控制、Cs 轴控制功能，多主轴高效机床需要有多通道控制功能等，CNC 的功能正在日益提高。

3. 数控机床的特点

数控机床是典型的机电一体化设备，是现代制造技术的基础；数控机床也是数控技术应用最早、最广泛的领域，它代表了目前数控技术的性能、水平和发展方向。数控机床与普通机床比较，具有以下基本特点。

1）精度高。机床采用 CNC 控制后，由于以下原因，其定位精度和加工精度一般都要高于传统的普通机床。一是脉冲当量小。CNC 的脉冲当量决定了机床理论上可达到的定位精度，当代 CNC 的脉冲当量一般都在 0.001mm 及以下，它能实现比普通机床更精确的定位和加工。二是 CNC 具有误差自动补偿。CNC 一般都具备误差自动补偿功能，机床进给传动系统的反向间隙、丝杠的螺距误差等均可通过 CNC 进行自动补偿，因此，即使在同等条件下，数控机床的定位精度也高于普通机床。三是结构刚性好。数控机床的进给系统普遍采用滚珠丝杠、直线导轨等高效、低摩擦传动部件，传动系统结构简单、传动链短、传动间隙小、部件刚性好，它比普通机床具有更高的刚度、精度和稳定性。四是人为误差小。数控机床可通过一次装夹，完成多工序的加工，减少了零件的装夹过程的人为误差；其零件的尺寸一致性好，产品合格率高，加工质量稳定。

2）柔性强。机床采用 CNC 控制后，只需更换加工程序，就能进行不同零件的加工，它为多品种、小批量加工及新产品试制提供了极大的便利。数控机床还可通过多轴联动控制，实现空间曲线、曲面的加工，加工普通机床难以或无法完成的复杂零件，因此，其适用范围更广、柔性比普通机床更强。

3）生产效率高。零件加工效率决定于零件的实际加工时间和辅助加工时间。数控机床的加工效率主要体现在以下几个方面。一是数控机床的切削速度和进给量可以任意选择，因此，每一道工序都可选择最佳的切削用量，以提高加工效率；此外，由于数控机床的刚性好，允许进行大切削用量的强力切削，其加工效率高，实际加工时间短。二是数控机床的快速移动速度大大高于普通机床，一般数控机床的快速移动速度通常都在 30m/min 以上，在高速加工机床上，更是可达到近 100m/min，其刀具定位的时间非常短，加工辅助时间比普通机床要小得多。三是数控机床一次装夹，可完成多工序加工，更换同类零件不需要重新调整机床，大大节省了零件安装、调整时间。四是数控机床可实现精确、快速定位，因此不必像普通机床那样，需要在加工前对工件进行划线，可节省划线工时。五是加工零件的尺寸一致性好，质量稳定，加工零件通常只需要进行首检与抽检，可节省工件检验时间。

4）有利于现代化管理。数控机床能准确地计算零件加工工时和费用，有利于生产管理的现代化。先进的数控机床，还可方便地连接到工厂自动化网络或信息管理网络中，它为企



业的计算机辅助设计与制造和信息化管理提供了条件。

1.2　常见数控机床

1.2.1　车削类数控机床

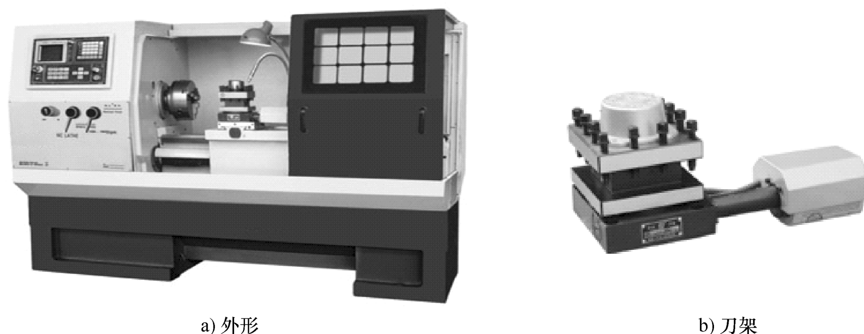
车削加工机床是工业企业的最为常用的加工设备，它具有适用面广、结构简单、操作方便、维修容易等特点，可用于轴、盘类等回转体零件的外圆、端面、中心孔、螺纹等的车削加工。从结构布局上，工业企业常用的数控车削加工机床有卧式数控车床、立式数控车床两大类，以卧式数控车床的用量为最大。

卧式数控车床的主轴轴线为水平布置，它是所有数控机床中结构最简单、产量最大、使用最广泛的机床。根据机床性能和水平，目前市场使用的车削类数控机床可分为普及型和经济型、全功能型、车削中心、车铣复合加工中心、车削 FMC 等，其特点和主要用途如下。

1. 普及型和经济型数控车床

国产普及型和经济型数控车床是普通车床通过数控化改造得到的简易产品，其主要部件结构、外形基本相同。普及型和经济型数控机床的区别仅仅是所使用的进给驱动装置有所不同，普及型采用通用伺服驱动，经济型使用步进驱动。由于步进电动机受最高运行频率、最大起动频率、步距角等参数的制约，其脉冲当量、快进速度、定位精度均较低，且还存在“失步”问题，因此，经济型数控车床的使用已越来越少。

常见的普及型数控车床如图 1-3 所示，这种机床只是根据数控机床的基本要求，对普通车床的相关机械部件作了部分改进，其床身、主轴箱、尾座、拖板等基本部件以及液压、冷却、照明、润滑等辅助部件的外形和基本结构与普通车床并无太大的区别。



a) 外形　　　　b) 刀架

图 1-3　普及型数控车床

普及型数控车床的主电动机一般采用变频调速，由于变频器调速的低频输出转矩很小，故仍需要通过机械齿轮变速提高主轴低速转矩，但其变速档少于普通车床，主轴箱的结构也相对较简单。机床一般采用图 1-3b 所示的电动刀架进行自动换刀。

普及型数控车床的结构简单、价格低廉、维修容易，可用于简单零件的自动加工，但由于 CNC 的功能简单、目前还不能真正做到在 CNC 上实现坐标轴闭环位置控制，因此，无论是加工精度特别是轮廓加工精度、效率都与全功能型数控车床存在很大的差距，机床不能用于高速、高精度加工。

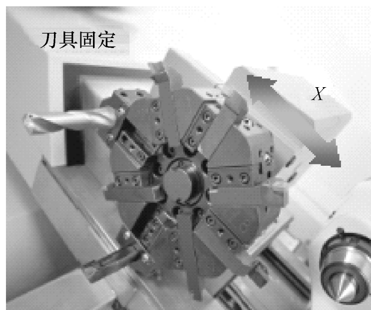


2. 全功能型数控车床

典型的全功能型数控车床如图 1-4 所示，其结构和布局均按数控机床的要求设计，机床多采用斜床身布局，刀架布置于床身后侧，主轴箱固定安装在床身上。



a) 外形



b) 刀架

图 1-4　全功能型数控车床

全功能型数控车床配套的是进口全功能数控，它可通过 CNC 真正实现闭环位置控制，其轮廓加工精度要远高于普及型数控车床。全功能型数控车床的主轴驱动采用专用交流主轴驱动装置，其调速范围宽、低速输出转矩大、最高转速高，且还可实现主轴位置控制；在高速、高精度机床上，还经常使用高速主轴单元或电主轴，使主轴具有更高的转速和精度。

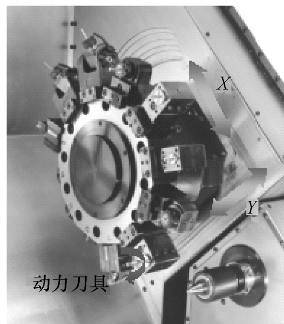
全功能型数控车床一般采用图 1-4b 所示的液压刀架。为了提高机床的加工效率和自动化程度，减小装夹误差，全功能型数控车床的卡盘和尾座一般采用液压控制，工件松夹、尾座的伸缩均可自动进行。

3. 车削中心

车削中心是在数控车床的基础上发展起来、可用于回转体零件表面铣削和孔加工的车铣复合加工机床，以卧式为常见。主轴具有 Cs 轴控制功能，刀架上可安装用于钻、镗、铣加工用的旋转刀具（Live Tool，又称动力刀具），刀具能够进行垂直方向运动（*Y* 轴）是车削中心和数控车床在功能上的主要区别。典型的车削中心如图 1-5 所示。



a) 外形



b) 刀架

图 1-5　车削中心



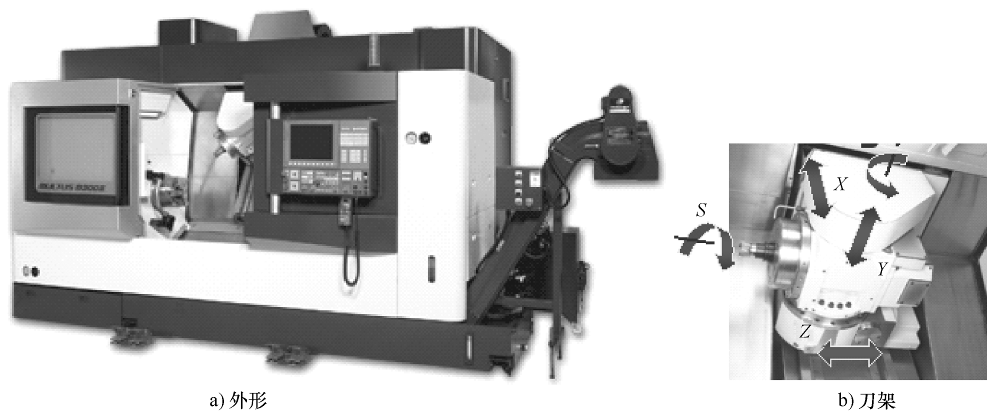
车削加工是以工件旋转为主运动、刀具作进给运动的切削加工方法，而钻、镗、铣加工则是以刀具的旋转为主运动、工件或刀具作进给运动的加工方法，两者的工艺特征不同。因此，车削中心的主轴不但需要进行旋转运动，而且还必须能够在所需要的位置上定位并夹紧、进行铣削等加工，并参与基本坐标轴的插补、实现刀具的进给运动，即车削中心必须同时具备速度、位置和 Cs 轴控制功能。

回转体零件内外圆、端面车削加工，只需要有轴向（*Z* 轴）和径向（*X* 轴）进给运动，但其侧面、端面的孔加工和铣削加工，除了需要轴向和径向进给外，还需要有垂直刀具轴线的运动才能实现，因此，车削中心至少需要有 *X*、*Y*、*Z* 三个进给轴。

车削中心的刀架如图 1-5b 所示，其外形和数控车床液压刀架类似，但内部结构和控制要求有很大的差别。数控车床刀架上的刀具不能旋转，刀架只有回转分度和定位功能。车削中心的刀架不但可安装固定的车刀，而且还可以安装本身能够旋转的钻、镗、铣加工刀具，这样的刀具称为动力刀具（Live Tool），如此才能进行孔加工或平面、轮廓、槽的铣削加工。因此，车削中心的刀架不但需要有回转分度和定位功能，而且还需要安装动力刀具主传动系统，其结构较为复杂。

4. 车铣复合加工中心

典型的车铣复合加工中心如图 1-6 所示。从数控车床的基础上发展起来的、以车削加工为主的中小型车铣复合加工中心通常以卧式斜床身数控车床为基础，其车削主轴的结构和车削中心相同，主轴为卧式布置、具有 Cs 轴控制功能，机床同样可配备尾架、顶尖等车削加工附件。



a) 外形　　b) 刀架

图 1-6　车铣复合加工中心

车铣复合加工中心和车削中心的最大区别在刀架结构上。车削中心的刀架一般采用前述的转塔结构，动力刀具安装在转塔上，刀具交换通过转塔的回转分度实现。这种机床的刀具交换方便，可直接使用传统车刀且刚性好，但作为车铣中心，它存在 *Y* 轴行程小、铣削能力弱、动力刀具传动系统的结构复杂、传动链长、主轴转速低和刚性差等问题，因此，其铣削能力较弱。

车铣复合加工中心一般采用图 1-6b 所示的加工中心主轴结构和换刀方式。主轴可安装刀柄统一的车削和镗铣加工刀具，并可进行大范围（225°左右）摆动，以调整刀具方向、进行倾斜面加工；自动换刀装置一般布置在床身的内侧，其结构与加工中心类似。

当机床进行内外圆或端面车削加工时，主轴换上车刀后锁紧，然后利用 B 轴的回转调整车刀方向（0°～90°范围内的任意方向）并定位夹紧，这样就可通过 X、Z 轴运动，对安装在车削主轴上的旋转工件进行车削加工。当机床需要进行侧面或端面铣削加工时，车削主轴切换到 Cs 轴控制方式，成为数控回转轴，机床便可通过铣削主轴对安装在车削主轴上的工件进行钻、铣、镗、攻螺纹等加工，且能通过 X、Y、Z、B、C 轴的联动实现 5 轴加工。

车铣复合加工中心的主轴一般为电动机直连或电主轴，其主轴箱结构紧凑，可安装的刀具规格大、主轴刚性好，主轴转速可达到上万转甚至数万转，故可以用于高速铣削加工。

以上结构较好地解决了车削中心的铣削能力不足的问题，且可用于 5 轴加工，但自动换刀装置的布置不方便，床身倾斜的布局对 Y 轴行程还有一定的限制，为此，大型车铣复合加工中心有时直接采用加工中心的立柱移动结构，这种机床和带 A 轴转台、主轴箱摆动的立式 5 轴加工中心非常类似，只是其 A 轴采用的是车床的主轴结构，并具有车床用的尾架、顶尖等基本部件而已，因此，它完全综合了数控车床和加工中心的特点。

5. 车削 FMC

车削 FMC 是在车削中心、车铣复合加工中心的基础上，通过增加工件自动输送和交换装置，构成的自动化加工单元。图 1-7 为国外著名机床厂家生产的车削 FMC 外形。

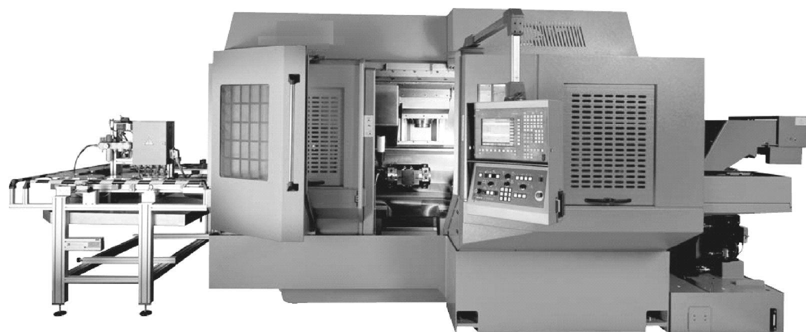


图 1-7　车削 FMC

FMC 是柔性加工单元（Flexible Manufacturing Cell）的简称，其最大特点是能够进行工件的自动交换，FMC 的主机可以是一台或几台数控车床、车削中心或车铣复合加工中心。FMC 不仅实现了工序的集中和工艺的复合，而且通过工件的自动交换，使得无人化加工成为可能，从而进一步提高了设备的加工效率。FMC 既是柔性制造系统的基础，又可以作为独立的自动化加工设备使用，因此，其发展速度较快。

1.2.2　镗铣类数控机床

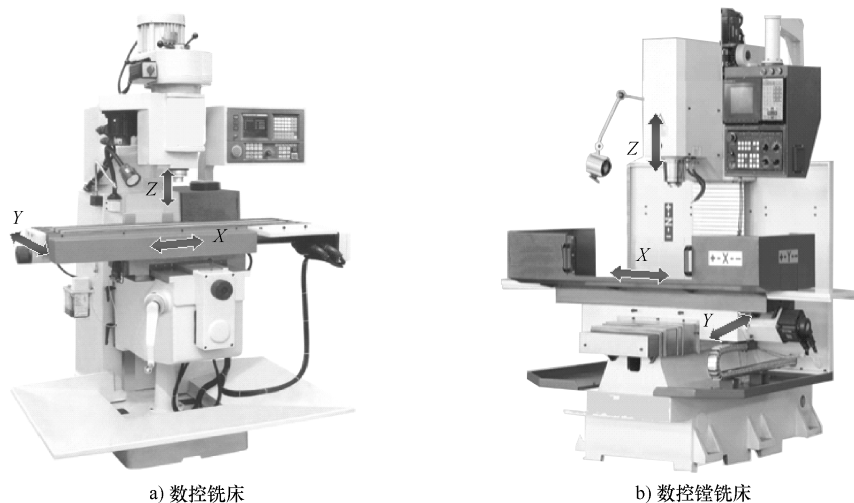
镗铣加工数控机床的种类较多，从机床的结构布局上，可分为立式、卧式和龙门式三大类，龙门式镗铣加工机床属于大型设备，其使用相对较少；立式和卧式镗铣加工机床是常用设备。根据机床性能和水平，目前市场使用的镗铣类数控机床可分为数控镗铣床、加工中心、铣车复合加工中心、FMC 等，其特点和主要用途如下。

1. 数控镗铣床

主轴轴线垂直布置的机床称为立式机床。立式数控镗铣床是从普通立式铣床基础上发展起来的数控机床，根据通常的习惯，人们将图 1-8a 所示，从普通升降台铣床基础上发展起



来的数控镗铣加工机床称为数控铣床；而将图 1-8b 所示，从普通床身铣床基础上发展起来的数控镗铣加工机床称为数控镗铣床。

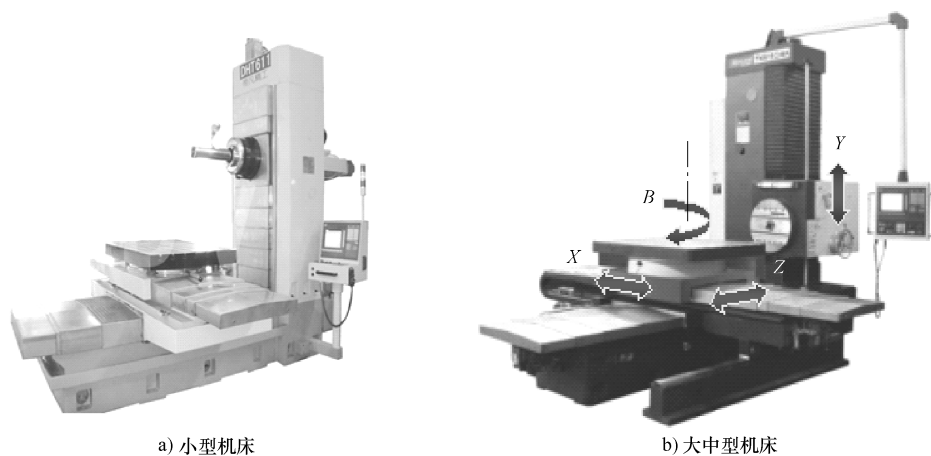


a) 数控铣床　　b) 数控镗铣床

图 1-8　立式数控镗铣床

数控铣床和数控镗铣床的功能并无本质的区别，相对而言，数控镗铣床的孔加工能力较强、主轴的转速和精度较高，故更适合于高速、高精度加工，但其铣削加工能力一般低于同规格的数控铣床。

主轴轴线水平布置的机床称为卧式机床。卧式数控镗铣床是从普通卧式镗床基础上发展起来的数控机床，常见的外形如图 1-9 所示。



a) 小型机床　　b) 大中型机床

图 1-9　卧式数控镗铣床

卧式数控镗铣床以镗孔加工为主要特征，主要用来加工箱体类零件上侧面的孔或孔系。卧式机床的布局合理、工作台面敞开、工件装卸方便、工作行程大，故适合于箱体、机架等大型或结构复杂零件的孔加工。卧式数控镗铣床通常配备有回转工作台（*B* 轴），可以完成工件的所有侧面加工，因此，相对立式镗铣床而言，其适用范围更广，机床的精度和价格也相对较高。

龙门式数控机床一般用于大型零件的镗铣加工，它由两侧立柱和顶梁组成龙门，主轴箱安装于龙门的顶梁或横梁上，其典型结构如图 1-10 所示。

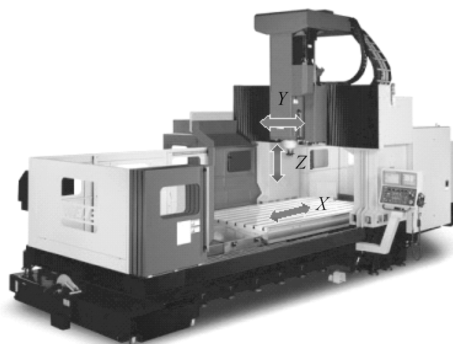


图 1-10　龙门式数控镗铣床

龙门式数控机床的顶梁由两侧立柱对称支撑，滑座可在顶梁上左右移动（*Y* 轴），其 *Y* 轴行程大、工作台完全敞开，它可以解决立式机床的主轴悬伸和工件装卸问题。同时，由于 *Y* 轴位于顶梁（或横梁）上，也不需要考虑切屑、冷却水的防护等问题，工作可靠性高。龙门式机床的 *Z* 轴行程可通过改变顶梁高度调整；在横梁移动的机床上，还可通过横梁的升降扩大 *Z* 轴行程、提高主轴刚性，它还可以解决卧式机床所存在的主轴或刀具的前端下垂问题，其 *Z* 轴行程大、加工精度容易保证。

龙门式镗铣床的 *X* 轴运动可通过工作台或龙门的移动实现，其最大行程可以达到数十米；*Y* 轴行程决定于横梁的长度和刚性，最大可达 10m 以上；*Z* 轴运动可通过横梁升降和主轴移动实现，一般可达数米；机床的加工范围远远大于立式机床和卧式机床，可用于大型、特大型零件的加工。

2. 加工中心

镗铣加工机床采用数控后，不仅实现了轮廓加工的功能，而且可通过改变加工程序来改变零件的加工工艺与工序，增加了机床的柔性。但数控镗铣床由于不能自动换刀，因此，其加工效率相对较低。为此，人们研制了图 1-11 所示、带有自动刀具交换功能（Automatic Tool Changer，ATC）的 NC 机床，并称之为加工中心（Machining Center）。

加工中心通过刀具的自动交换，可一次装夹完成多工序的加工，实现了工序的集中和工艺的复合，从而缩短了辅助加工时间，提高了机床的效率；减少了零件安装、定位次数，提高了加工精度，它是目前数控机床中产量最大、使用最广的数控机床之一，其种类繁多、结构各异，立式、卧式和龙门式加工中心属于常见的典型结构。

为了提高加工效率、缩短辅助时间，卧式加工中心经常采用图 1-11b 所示的双工作台交换装置，这种机床虽能实现工件的自动交换，但增加双工作台交换的主要目的是提高效率、缩短工件装卸辅助时间，且只能进行一个工件的交换，故不能称为 FMC。

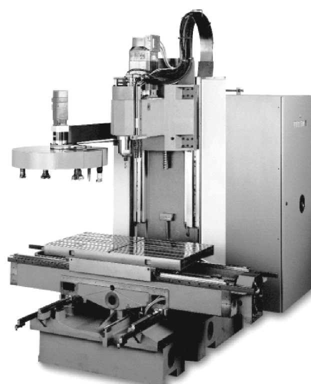
3. 铣车复合加工中心

铣车复合加工中心是近年来发展起来的新颖机床，它集刀具回转的镗铣加工与工件回转的车削加工于一体，可以满足高效、高精度加工的要求。

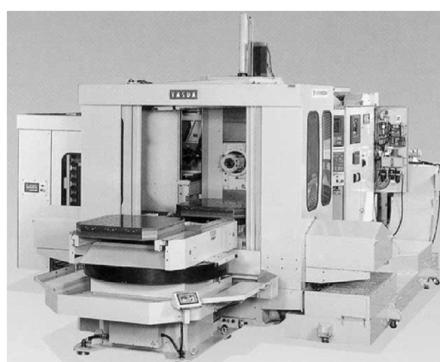
立式和龙门式加工中心实现铣车复合加工较为容易，它是铣车复合加工中心的常见形式。立式和龙门式加工中心只需要以车削加工的高速数控转台代替传统的数控回转工作台，就可实现铣车加工的复合。立式铣车复合加工中心的常见结构有两种：一种是以 *A* 轴为车削主轴、主轴箱摆动（*B* 轴）的结构；另一种是以 *C* 轴为车削主轴、*A* 轴转台摆动的结构，前者适合于长度较长的轴类零件铣车复合加工，故又称棒料加工中心；后者适用于长度较短的法兰、端盖类零件铣车复合加工，并可用于多主轴加工。

棒料加工中心一般以主轴箱摆动的五轴立式加工中心为基型，工作台上安装有卧式高速

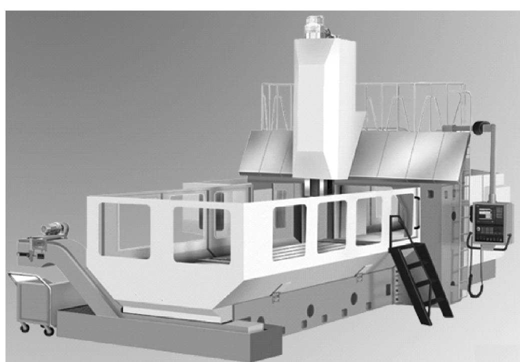




a) 立式



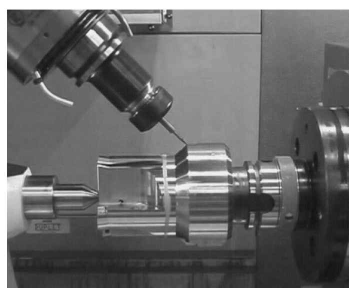
b) 卧式



c) 龙门式

图 1-11　加工中心

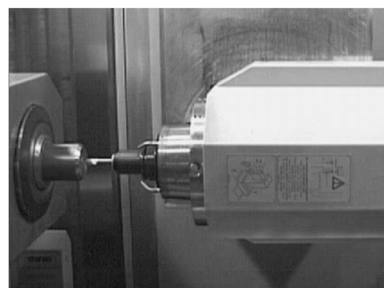
数控转台（*A* 轴）；主轴箱可绕 *Y* 轴左右摆动（*B* 轴）；机床工作台上一般安装有平行 *X* 轴的辅助运动轴（*U* 轴），用来安装尾架、夹持器等车削加工辅助部件。棒料加工中心的功能和用途如图 1-12 所示。



a) 五轴铣削



b) 外圆端面车削



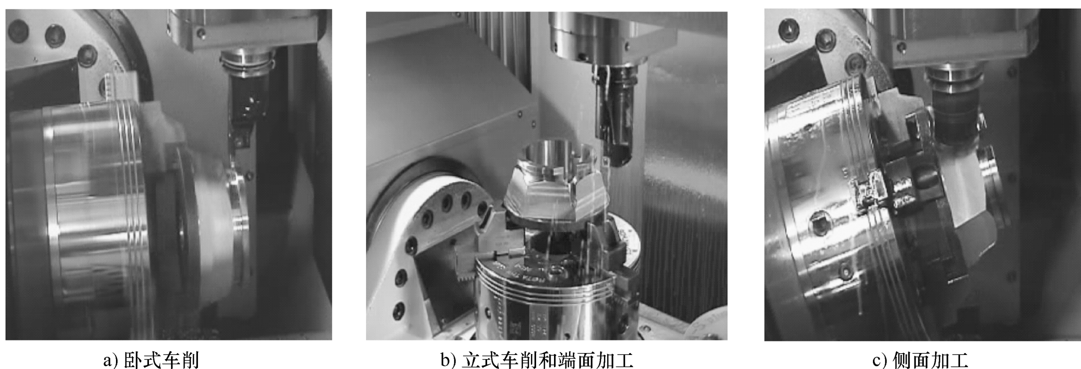
c) 端面孔加工

图 1-12　棒料加工中心的功能

当机床用于镗铣类加工时，*A* 轴用于回转定位和切削进给，主轴换上镗铣类刀具，机床便可通过 *A* 轴回转和 *B* 轴摆动，对轴类零件的侧面进行图 1-12a 所示的五轴孔加工或平面、槽的铣削加工。当 *B* 轴在 0°位置定位夹紧、*A* 轴切换到高速旋转方式、主轴换上车刀并锁紧时，机床可像卧式数控车床那样，通过 *X*、*Z* 轴的运动，对 *A* 轴上的旋转工件进行图 1-12b所示的轴类零件外圆、端面车削加工。当 *B* 轴在 90°位置夹紧、*A* 轴定位并夹紧、主轴

换上钻头、丝锥或镗铣刀时，机床就可通过 Y、Z 轴定位和 X 轴的进给，对安装在 A 轴上的工件进行图 1-12c 所示的端面孔加工或槽加工。铣车加工中心在加工端面孔时，即使中心孔，通常也采用工件固定、刀具旋转的加工方式，这点和卧式车床有所不同。

法兰类零件铣车复合加工中心一般以主轴箱固定的五轴立式加工中心为基型，工作台上安装有可绕 X 轴左右摆动（A 轴）的转台；转台上又安装有可用于车削加工的立式高速数控转台（C 轴）。机床的功能和用途如图 1-13 所示。



a) 卧式车削　　b) 立式车削和端面加工　　c) 侧面加工

图 1-13　法兰类铣车复合加工

对于镗铣类加工，C 轴用于回转定位和切削进给，主轴换上镗铣类刀具，机床便通过 C 轴的回转和 A 轴的摆动，对叶轮、端盖、法兰等零件进行五轴铣削加工。当 A 轴在 90°位置定位夹紧、C 轴为水平并切换到高速旋转方式、主轴换上车刀并锁紧时，机床可像卧式数控车床那样，通过 Y、Z 轴的运动，对 C 轴上的旋转工件进行图 1-13a 所示的外圆、端面车削加工。

当 A 轴在 0°位置定位夹紧、C 轴为垂直并切换到高速旋转方式、主轴换上车刀并锁紧时，机床可像立式数控车床那样，进行图 1-13b 所示的外圆、端面车削加工；如 C 轴定位并夹紧、主轴换上钻头、丝锥或镗铣刀，则可对工件的端面进行孔加工或平面、槽的铣削加工。当 A、C 轴在其他位置同时定位并夹紧时，只要主轴换上钻头、丝锥或镗铣刀，机床就可对端盖、法兰等回转体零件的侧面进行图 1-13c 所示的孔加工或平面、槽的铣削加工。

4. FMC

如果在加工中心的基础上，进一步增加图 1-14 所示的工作台（托盘）自动交换装置（Automatic Pallet Changer，APC），进行工件的自动交换，这样的加工单元称为柔性加工单元（Flexible Manufacturing Cell，FMC）。

FMC 不但可完成单个工件的多工序的加工，实现工序的集中和工艺的复合，而且还能够自动交换加工零件，实现较长时间的无人看管加工，它进一步提高了数控机床的利用率和自动化程度，这是一种目前真正能够实用化的无人化加工设备，它在先进的企业中已经得到普及和应用。

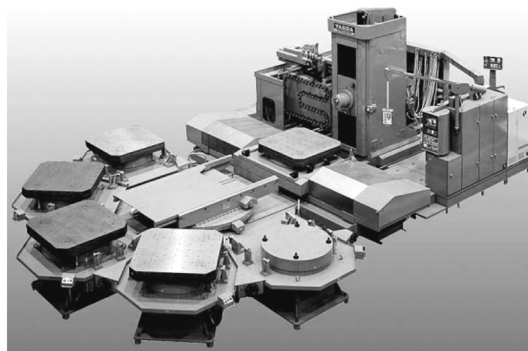


图 1-14　卧式 FMC



5. FMS 和 CIMS

NC 机床、加工中心、车削中心、FMC 都是独立的加工设备，如果在它们的基础上，再增加刀具中心、工件中心、输送系统、工业机器人及相关的配套设备，并由中央控制系统进行集中、统一的控制和管理，这样的制造系统称为柔性制造系统（Flexible Manufacturing System，FMS）。

FMS 的规模可大可小，中等规模的 FMS 一般由图 1-15 所示的若干台 NC 机床、测量机、工业机器人、集中控制台及相关设备组成，这样的 FMS 不仅可进行长时间无人化加工，而且也可以完成零件的测量，基本具备了 FMS 的功能。而大型 FMS 则具有车间制造过程的全面自动化的功能，这样的 FMS 可以称得上是一种高度自动化的先进制造系统。

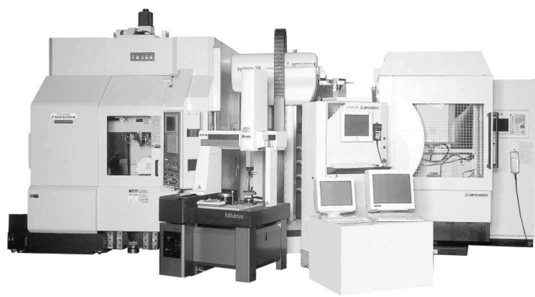


图 1-15　FMS

随着科学技术的发展，为了适应市场多变的需求，现代制造企业不仅需要实现车间制造过程的自动化，而且希望实现从市场预测、生产决策、产品设计、产品制造直到产品销售的全面自动化。如果将这些要求进行综合，并组成完整的系统，这样的系统称计算机集成制造系统（Computer Integrated Manufacturing System，CIMS）。CIMS 将一个工厂的全部生产、经营活动进行了有机的集成，实现了高效益、高柔性的智能化生产，它是当今自动化制造技术发展的最高阶段。

FMS、CIMS 是现代制造技术的发展方向，但是由于技术、管理、维护等诸多原因，目前还处于研究和试验阶段，即使在发达国家，能够真正实用化的 FMS、CIMS 尚不多见。

1.3　数控原理与系统

1.3.1　数控系统组成

数控系统的基本组成如图 1-16 所示。

数控系统以运动轨迹的控制作为主要控制对象，它需要对设备各运动轴的移动速度和位置等进行联合控制，其控制指令来自数控加工程序。因此，作为数控系统的最基本组成，它必须有数据输入/显示装置、轨迹控制装置（数控装置）、运动轴驱动装置（伺服驱动）等硬件和配套的软件。

1. 数据输入/显示装置

数据输入/显示装置用于加工程序、控制参数等的输入和程序、位置、工作状态的显示。键盘和显示器是任何 CNC 都必备的基本数据输入/显示装置。键盘用于数据的手动输入，故称手动数据输入（MDI）单元，；它与液晶显示器（LCD）；通常制成一体，这样的单元称为 MDI/LCD 单元。作为数据输入/显示装置的扩展，早期的 CNC 曾经采用光电阅读机、磁带机、软盘驱动器和 CRT（阴极射线管）显示器等外部设备，这些设备目前已经淘汰，而计算机则成为了目前最常用的数据输入/显示扩展设备。



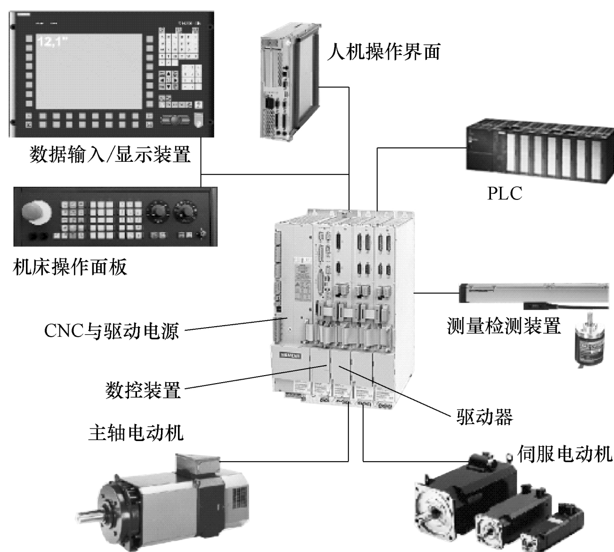


图 1-16　数控系统的组成

2. 数控装置

数控装置是数控系统的核心部件，它包括输入/输出接口、控制器、运算器和存储器等。数控装置的作用是将外部输入命令转换为控制信号，以控制设备各部分的运动。

坐标轴的运动速度、方向和位移决定了刀具运动轨迹，它是数控装置最为主要的功能。坐标轴的运动控制信号（位置指令脉冲）可通过数控装置的插补运算生成，指令脉冲经伺服驱动系统的放大，驱动坐标轴的运动。

计算机技术发展到今天，数控装置的控制轴数、运算精度、处理速度等已不再是制约数控系统性能的主要问题，因此，衡量数控装置的性能和水平，必须从其位置控制的能力上进行区分。国产普及型 CNC 目前只具备位置指令脉冲的生成功能，它不能进行位置的实时监控和闭环控制；进口全功能型 CNC 不仅具有位置指令脉冲生成功能，而且其坐标轴的闭环位置控制也通过数控装置实现，因此，其技术先进、结构复杂、价格高，但其位置控制精度、轮廓加工性能大大优于国产普及型 CNC。

3. 伺服驱动

伺服驱动（Servo Drive，简称 SV）装置由驱动器（亦称放大器）和伺服电动机等组成，按日本 JIS 标准，它是“以物体的位置、方向、状态等作为控制量，追踪目标值的任意变化的控制机构”。伺服驱动装置不仅可和数控装置配套使用，且还可构成独立的位置随动系统，故又称伺服系统。交流伺服驱动是当前最为常用的驱动装置；在先进的高速加工机床上，已开始使用直线电机；早期的数控机床也有采用直流伺服驱动的情况；简易数控设备有时也可采用步进驱动。

伺服驱动系统的结构与数控装置的性能密切相关，因此，它是区分经济型、普及型与全功能型数控的标准。经济型 CNC 使用的是步进驱动；国产普及型 CNC 由于数控装置不能进行闭环位置控制，故需要使用具有位置控制功能的通用型伺服驱动；进口全功能型 CNC 本身具有闭环位置控制功能，故使用的是无位置控制功能的专用型伺服驱动。



4. PLC

PLC 是可编程序逻辑控制器（Programmable Logic Controller）的简称，专门用于机床控制的 PLC 又称 PMC（Programmable Machine Controller），它用于数控设备除坐标轴（运动轨迹）外的其他动作控制，例如，数控机床的主轴转速、转向和起停；刀具的自动交换；冷却、润滑的控制；工件的松开、夹紧控制等。

在简单数控系统上，辅助控制命令在经过数控装置的编译后，一般以电平或脉冲信号的形式，直接输出到外部，由强电控制电路或外部 PLC 进行处理；在全功能型 CNC 上，为了便于用户使用，PLC（PMC）一般作为 CNC 的基本组件，直接集成在 CNC 上；或通过网络链接，使两者成为统一的整体。

5. 其他

随着数控技术的发展和机床控制要求的提高，数控系统的功能在日益增强。例如，在金属切削机床上，为了控制切削速度，主轴是其必需部件；特别是随着车铣复合等先进 CNC 机床的出现，主轴不仅需要进行速度控制，而且还需要参与坐标轴的插补运算（Cs 轴控制），因此，在全功能型 CNC 上，主轴驱动装置也是数控系统的基本组件之一。

此外，在全闭环控制的数控机床上，用于直接位置测量的光栅、编码器等也是数控系统的基本部件。为了方便用户使用，机床操作面板等也是数控系统常用的配套装置；在先进的数控系统上，还可以直接选择集成有个人计算机的人机界面，进行文件的管理和数据预处理，数控系统的功能更强、性能更完善。

1.3.2　数控加工原理

1. 数控机床的加工

数控技术以运动轨迹控制作为根本目的，为了说明数控系统的工作原理，下面以数控机床这一典型数控设备为例进行说明。

数控机床的一般组成如图 1-17 所示，其零件加工分以下步骤进行。

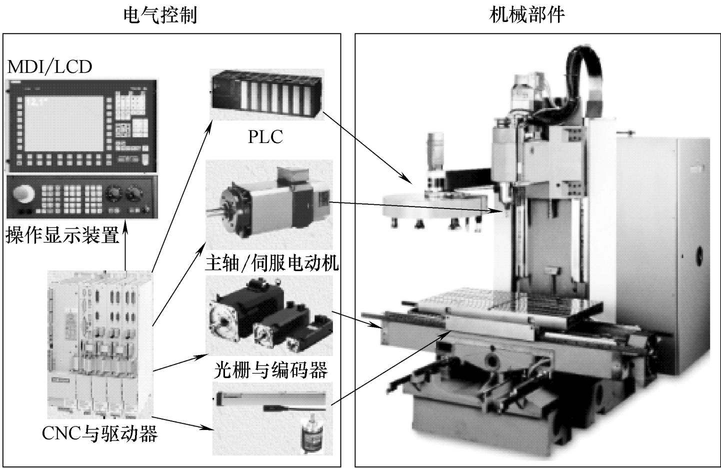


图 1-17　数控机床的一般组成

1）程序编制。根据被加工零件的图样与工艺方案，用规定的代码和程序格式，将刀具的移动轨迹、加工工艺过程、工艺参数、切削用量等编写成 CNC 能够识别的指令，并将所

编写的加工程序输入到 CNC。

2）自动运行。CNC 自动执行加工程序，对其进行译码、运算处理，并向各坐标轴的伺服驱动或辅助控制装置，发送相应的控制信号，控制机床的各部件运动。在运动过程中，CNC 需要通过反馈装置，随时检测坐标轴的实际速度与位置，保证运动轨迹的正确无误；辅助部件的动作也需要通过行程开关等检测装置进行监控。

3）操作监控。操作者可随时对机床的加工情况、工作状态进行观察、检查，必要时可对加工程序、执行过程和机床动作进行调整，保证机床的安全、可靠运行。

2. 轨迹控制原理

运动轨迹控制是数控系统最为主要的功能，也是机床采用数控的根本原因。

在传统的机床上，加工零件需要操作者根据图样的要求，通过不断改变刀具的运动轨迹和运动速度，对工件进行切削加工，保证零件的位置、轮廓和表面质量达到规定的要求。因此，如果工件的轮廓为曲线或曲面，它需要通过多个坐标轴的运动合成，这样的工件如通过操作者的手动操作来进行加工，是任何操作者都无法做到的。

数控机床的运动轨迹控制，实质上是应用了数学上的微分原理，其工作原理与过程如图 1-18 所示。

1）微分处理。CNC 根据加工程序的要求，将坐标轴的运动量，微分为 ΔX、ΔY 等的微小运动，这一微小运动量称为 CNC 的插补单位。

2）插补运算。CNC 将程序要求的运动轨迹，用微小运动组成的等效折线拟合，并找出最接近理论轨迹的拟合线。

在 CNC 中，这种根据给定的数学函数，在理想轨迹的已知点之间，通过微分确定中间点的方法称为插补运算，插补运算有多种方法，但目前的计算机处理速度和精度，任何插补方法都已足以满足机械加工的需要，故无须深究。

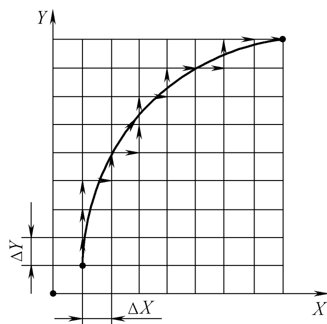


图 1-18　轨迹控制原理

3）指令分配。CNC 按照拟合线的要求，向需要参与插补的坐标轴，连续、有序地输出指令脉冲。指令通过伺服驱动系统的放大，驱动机床坐标轴运动，合成为刀具运动轨迹。

由此可得到以下结论：

1）只要数控系统的插补单位 ΔX、ΔY 足够小，拟合线就可以完全等效代替理论轨迹。

2）如果改变参与插补的坐标轴的指令脉冲分配方式，便可以改变拟合线的形状，从而改变刀具运动轨迹。

3）如果改变指令脉冲的输出频率，即可改变坐标轴（刀具）的运动速度。

因此，可实现数控机床的刀具运动轨迹控制。

3. 多轴联动和精度

在 CNC 上，将能够通过 CNC 控制速度和位移的坐标轴数量，称为 CNC 的控制轴数；将能够参与插补运算的坐标轴数量，称为联动轴数。显然，能够参与插补运算的联动轴数越多，CNC 的轮廓拟合能力就越强，因此，联动轴数曾经是衡量 CNC 性能水平的重要技术指标之一。

但是，如前所述，计算机技术发展到了今天，无论是其处理速度还是精度，要进行多个坐标轴的插补运算、输出相应的指令脉冲，这已经不是什么难题，因此，CNC 能够进行多



少个坐标轴的插补处理，这其实并不重要，重要的是怎样保证坐标轴能够完全按照指令脉冲进行运动，确保实际运动轨迹的准确无误。为此，国外先进的CNC都需要将伺服驱动和CNC作为一个整体进行设计，并通过CNC的闭环位置控制，来确保实际坐标轴的运动和指令脉冲完全一致，这正是国产经济型、普及型CNC和国外全功能型CNC的差距所在，在使用时需要引起注意。

采用数字化信息控制后，坐标轴的运动控制信号为脉冲信号。CNC输出的单位脉冲所对应的坐标轴位移，称为数控机床的最小移动单位，亦称脉冲当量，它是机床理论上能够达到的最高位置控制精度。经济型CNC由于受步进电动机步距角的限制，其脉冲当量通常只能达到0.01mm左右；国产普及型CNC的脉冲当量一般为0.001mm；进口全功能型CNC的脉冲当量一般可达到0.0001mm，甚至更小。

机床的实际运动精度和位置测量装置密切相关，采用电动机内置编码器作为位置检测元件时，可以保证电动机转角的准确；采用光栅或编码器直接检测，可以保证直线轴或回转轴的定位准确。经济型CNC的步进电动机无位置检测装置，故存在失步现象。国产普及型CNC的电动机内置编码器一般为2500P/r，通过4倍频线路，对于导程为10mm的传动系统，电动机和丝杠1:1连接时，检测精度可以达到1μm。进口全功能型CNC的电动机内置编码器、光栅的分辨率已可达2^{28}（268435456P/r）左右，同样对于导程为10mm的传动系统，电动机和丝杠1:1连接时，检测精度可以达到0.04μm。

1.3.3 普及型与全功能型CNC

目前，我国数控机床所使用的数控系统有国产经济型、普及型和进口全功能型之分，它不是单纯就CNC软件功能，来进行的分类，而是应从数控机床的控制要求和CNC实际具备的控制性能的角度来理解不同CNC所存在的区别。数控机床是一种加工设备，既快又好地完成加工，是人们对它的最大期望，因此，机床实际能够达到的加工精度和效率，是衡量其性能水平最重要的技术指标，而CNC控制轴数、联动轴数等虽代表了CNC的轮廓加工能力，但它们只是CNC软件功能的区别，并不代表机床实际能达到的精度和效率。

伺服驱动的结构和性能，是决定机床定位精度和轮廓加工精度的关键部件，也是判定经济型、普及型和全功能型CNC最简单的方法。使用开环步进驱动的CNC属于经济型数控；配套的通用伺服驱动装置的CNC属于普及型数控；而全功能型CNC则需要配套专用伺服驱动器[㊀]。目前，国内对于经济型CNC的定义，人们已经形成了普遍的共识，但对于普及型CNC和全功能型CNC的区别，目前还存在较大的误区，以致在购买、使用数控机床时出现了这样那样的问题，现说明如下。

1. 普及型CNC

普及型CNC的一般组成如图1-19所示，它通常由CNC/MDI/LCD集成单元（简称CNC单元）、通用型伺服驱动器、主轴驱动器（一般为变频器）、机床操作面板和I/O设备等硬件组成，CNC对配套的驱动器、变频器的厂家和型号无要求。

普及型CNC的数控装置只能输出指令脉冲，它不具备闭环位置控制功能。因此，它只能配套具有闭环位置控制功能的通用型交流伺服器，这是它和全功能型CNC的最大区别。

㊀ 龚仲华. 论通用伺服与专用伺服［J］. 制造技术与机床，2011（5）.

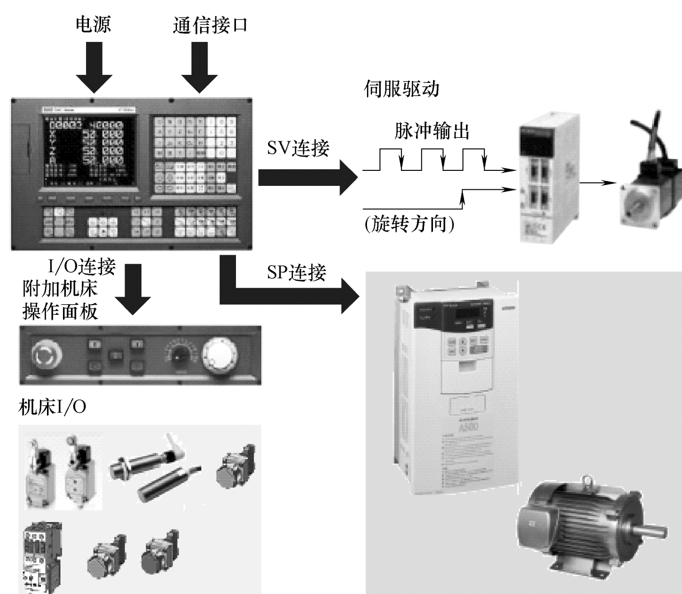


图 1-19　普及型 CNC 的组成

由于普及型 CNC 的位置测量信号不能反馈到 CNC 上，故 CNC 不能对坐标轴的实际位置、速度进行实时监控，也不能实时修正运动轨迹与速度，从这一意义上说，对 CNC 而言，它仍属于开环系统的范畴。

国产普及型 CNC 所使用的伺服驱动器是一种本身带有闭环位置控制功能、通过指令脉冲控制伺服电动机位置和速度的通用控制器，它对上级位置控制器（指令脉冲的提供者）无要求，故也可用于 PLC 控制。为了进行驱动器和 CNC 指令脉冲、机床移动量的匹配，驱动器必须带有用于数据设定与显示的操作面板。

由于普及型 CNC 不具备闭环速度、位置控制功能，这样的 CNC 实际上只是一个具有插补运算功能的指令脉冲发生器，实际坐标轴的运动都是在各自的驱动器控制下独立进行的。正因为如此，普及型 CNC 不能实时监控位置误差、速度等重要参数，也不能根据实际位置来调整指令脉冲输出，因此，刀具运动轨迹精确控制，只存在理论上的可能。从这一意义上说，通用伺服驱动的作用类似于步进驱动，只是它可实现连续、任意位置的定位，也不存在步进电动机的失步而已。

大多数国产普及型 CNC 无集成式的内置 PLC，它们只能将辅助功能中最常用的少量 M 代码，如主轴正反转和起动/停止控制 M03/M04/M05，冷却控制 M07/M08/M09 及数控车床刀架正/反转 TL+/TL-、卡盘/尾架夹紧/松开等，译码后作为 CNC 接口信号直接输出。因此，其辅助机能控制一般可以通过简单的强电控制线路，便可实现。少量的普及型 CNC，如早期的 FAGOR 8025 等，也可将 M 代码及 M 代码修改信号 MF 等，以二进制代码信号的形式输出到 CNC 接口上，用户可通过选配通用型 PLC，实现辅助机能的控制。

综上所述，尽管国产普及型 CNC 的价格低、可靠性也较好，部分产品也开发了多轴联动功能，但其结构决定了它的定位精度、轮廓控制性能等都与全功能型 CNC 存在较大的差距，它不能实现主轴的位置插补控制（Cs 轴控制），因此，也不能够用于车削中心、车铣复

合加工机床的控制。

2. 全功能型 CNC

全功能型 CNC 是一种通过 CNC 实现闭环位置控制、需要配套专用伺服驱动器，并带有内置 PLC 或 PMC 的完整系统，其功能强、结构复杂、组成部件多。全功能型 CNC 的各组成部件均需要在 CNC 的统一控制下运行，部件间的联系紧密，伺服驱动器、主轴驱动器、PMC 等都不能独立使用，因此，在控制系统设计、连接、调试时必须将其作为一个统一的整体来考虑。

目前，全功能型 CNC 一般都采用了网络控制技术，以 FS-0iD 为例，其组成如图 1-20 所示。与早期的 CNC 比较，采用了网络控制的 CNC，以 I/O-Link、PROFIBUS、FSSB 等现场总线替代了传统的 I/O 单元、伺服驱动器的连接电缆；以工业以太网替代了传统的通信连接，故 CNC 的连接简单、扩展性好、可靠性高。

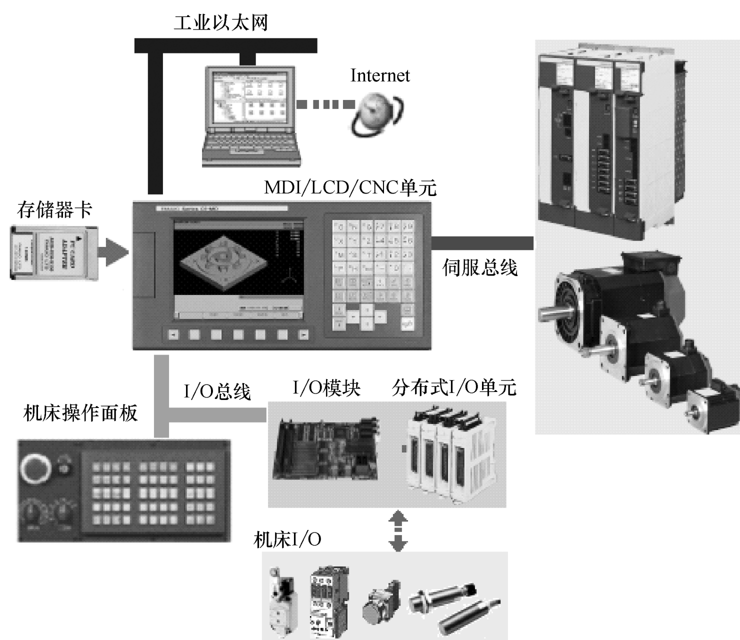


图 1-20　FS-0iD 的系统组成

全功能型 CNC 的闭环位置控制通过 CNC 实现，故必须配套专用的伺服驱动器，伺服驱动器与 CNC 之间一般通过总线连接，如 FANUC 公司的 FSSB 总线、SIEMENS 公司的 PROFIBUS 总线等，总线通信使用专用协议，对外部无开放性，驱动器不能独立使用。驱动器参数设定、状态监控、调试与优化等均可通过 CNC 的 MDI/LCD 单元进行，驱动器无操作面板。

通过 CNC 进行闭环位置控制是全功能型 CNC 区别于国产普及型 CNC 的最大特点。全功能型 CNC 不但能实时监控运动部件的位置误差、速度等，而且所有坐标轴的运动都可以作为整体进行统一控制，它可根据机床的实际运动来调整 CNC 的指令脉冲输出、确保刀具运动轨迹的准确无误，这是一种真正意义上的闭环位置控制系统。在先进的 CNC 上，还可通

过“插补前加减速”、“AI 先行控制（Advanced Preview Control）”等前瞻控制功能，进一步提高轮廓加工精度。这就是配套全功能型 CNC 的数控机床，其定位精度、轮廓加工精度要远远高于普及型 CNC 的原因所在。

全功能型 CNC 的 PLC 有集成内置式 PLC（PMC）和使用外置式 PLC 两种情况。前者多用于 5 轴以下的紧凑型 CNC，后者多用于多轴控制、多轴联动的大型、复杂 CNC。

（1）内置式 PLC

在使用集成内置式 PLC 的 CNC 上，PLC 与 CNC 共用电源和 CPU；用户可根据机床的实际控制需要，通过选择所需的开关量输入/输出连接模块（I/O 单元或 I/O 模块），构成相对简单的 PLC 系统，CNC（PLC）和 I/O 单元（模块）间可通过网络总线进行连接。

内置式 PLC 与 CNC 集成一体，PLC 不能独立使用，CNC 配套的 I/O 单元（模块）结构紧凑、I/O 点较多，但模块种类少、输入/输出规格固定、用途单一，I/O 点的总数有一定的限制，通常也不能选择特殊功能模块。此外，CNC 生产厂家所提供的机床操作面板等部件，可通过集成总线接口，直接与 PLC 总线连接，作为 PLC 的 I/O 单元使用。内置式 PLC 与 CNC 间的信号传送，可直接通过内部 I/O 接口实现，无须选配 I/O 单元。

内置式 PLC 的软件功能较为简单，功能指令较少，但是，为了便于用户使用，它一般设计有专门用于数控机床控制的回转分度、自动换刀等特殊功能指令。内置式 PLC 可借助 CNC 的操作面板与显示器，进行程序的编辑、调试与状态监控。

（2）外置式 PLC

大型全功能型 CNC 的功能强大、需要控制的 I/O 点数众多，故一般需要使用外置的大中型 PLC 进行控制。

外置式 PLC 具有独立的 CPU 和电源、I/O 模块，其结构与模块化结构的大中型通用 PLC 相同。因此，在 SIEMENS 公司、AB 公司等既生产 CNC，同时又生产通用型 PLC 的公司，有时直接利用通用型 PLC，构成相对独立的 PLC 系统。例如，早期的 SIEMENS 6/850/880 等 CNC，使用的是该公司生产的 S5-130W/150 等通用 PLC；而 SIEMENS 840D 则采用 S7-300/400 等通用 PLC。

外置式 PLC 可控制的 I/O 点数众多，输入/输出直接使用通用 PLC 的 I/O 模块，模块种类齐全、输入/输出规格可变；如果需要，还可以选择模拟量控制、轴控制等特殊功能模块。外置式 PLC 与 CNC 间的信号传送，需要通过专门的 I/O 接口模块实现，PLC 和 CNC 间通过网络总线，传送内部处理的信号。

外置式 PLC 的软件功能与大中型通用 PLC 相同，其功能强大、指令丰富，PLC 程序的设计方法与通用型 PLC 完全相同。PLC 程序的编辑、调试与状态监控，同样可通过 CNC 的操作面板与显示器进行。

1.3.4 开环与闭环伺服系统

1. 开环系统

无位置反馈装置的伺服驱动系统称为开环系统，使用步进电动机（包括电液脉冲马达）作为执行元件是开环系统最明显的特点。

开环系统的基本组成如图 1-21 所示。CNC 输出的指令脉冲，经过步进驱动器的环形分配器或脉冲分配软件的处理和电流调节、功率放大后，驱动电动机电枢，控制步进电动机的



角位移。因此，CNC 只需要控制环形分配器的输出脉冲数量与频率，就可以控制步进电动机的转角与转速，从而间接控制了移动部件的移动速度与位移量。

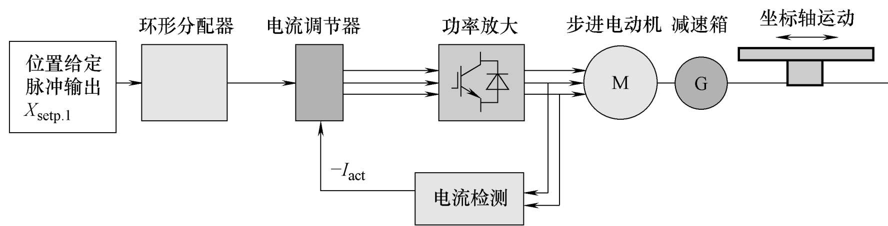


图 1-21　开环系统的基本组成

为了匹配电动机步距角和脉冲当量，并对转矩进行放大，开环系统一般需要配置机械减速装置。步进电动机经过减速装置带动丝杠旋转，并通过滚珠丝杠螺母副将角位移转换为移动部件的直线位移。

采用开环系统的数控机床结构简单、制造成本低，也不存在闭环系统的稳定性问题。但由于系统不能检测运动部件的实际位移，因而无法通过反馈自动调节和消除误差；此外，步进电动机的步距角误差、齿轮与丝杠等部件的传动误差等，最终也将影响零件的加工精度；特别是在负载转矩超过电动机输出转矩时，将导致步进电动机的失步，使加工无法进行。因此，它只能用于加工精度要求不高、负载轻且变化不大的简易型与经济型数控机床。

2. 半闭环驱动及其特点

以旋转编码器作为位置检测器件、但不检测最终控制量的伺服驱动系统，称为半闭环系统。直线运动轴的编码器，通常安装在传动丝杠或伺服电动机上；回转轴的编码器，通常安装在蜗杆或伺服电动机上。由于伺服电动机、丝杠、蜗杆和工作台中间为机械刚性连接，因此，通过这样的检测装置，可以间接反映最终运动部件的位移和速度。

半闭环驱动的结构原理如图 1-22 所示，它需要采用伺服驱动。根据交流伺服的控制需要，编码器的检测信号包含有转子位置检测信号和位置反馈信号，前者用于交流伺服驱动器的坐标变换、矢量计算和逆变管控制；后者需要反馈至 CNC，它被分解为闭环速度控制用的速度反馈信号及闭环位置控制用的位置反馈信号。在早期的交流伺服驱动系统中，也有使

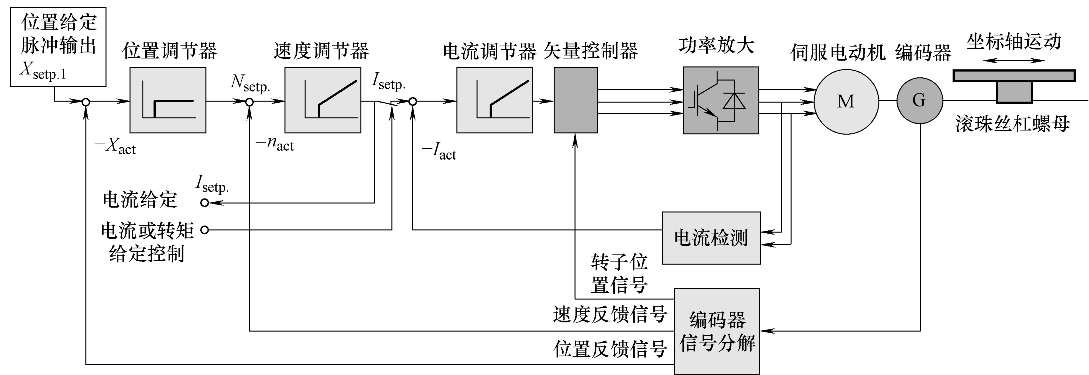


图 1-22　半闭环系统的基本组成

用霍尔元件检测转子位置、测速发电机检测速度、编码器检测位置的多检测装置结构，如SIEMENS 公司的 SIMODRIVE 610 系列交流伺服驱动等，在这种结构的伺服系统中，编码器只提供位置反馈信号。

为了便于使用和调试，半闭环系统的编码器通常直接安装在伺服电动机内，称为内置编码器。这样的系统结构紧凑、设计简单、使用方便，且电气控制与机械传动部分间有明显的分界，机械传动系统的间隙、摩擦死区、变形等非线性环节都在闭环外，因此，系统调试容易、稳定性好，故在数控机床上得到了广泛使用。

3. 全闭环系统

全闭环系统是直接检测最终控制量的闭环伺服驱动系统。直线运动轴的检测通常采用光栅；回转轴的检测通常采用直接检测编码器。

以直线轴为例，全闭环系统的基本组成如图 1-23 所示。其机床运动部件上，安装了检测直线位移的光栅，检测信号是坐标轴真实的位置与速度。因此，从理论上说，这样的系统其控制精度仅取决于检测装置本身的精度，它可对机械传动系统的间隙、摩擦死区、变形等进行自动补偿。

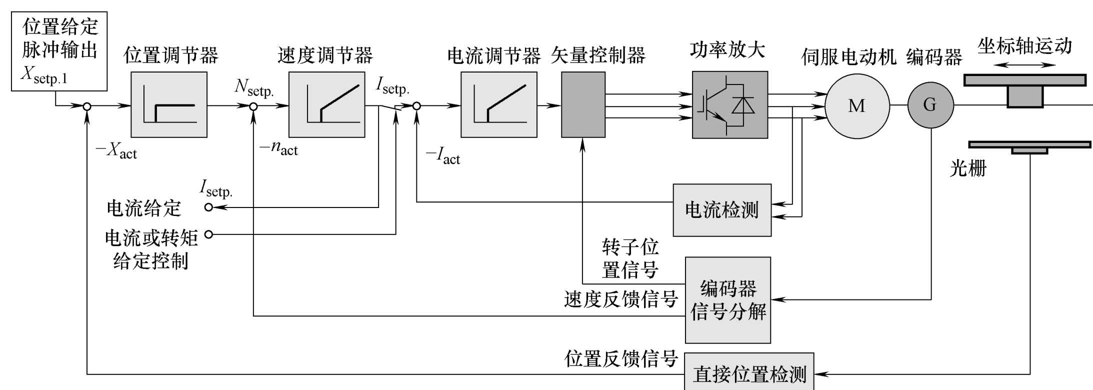


图 1-23　全闭环系统的基本组成

全闭环系统的结构，决定了它对传动系统的精度、刚性要求比半闭环系统更高，机械传动部件的刚度、间隙和导轨的爬行、摩擦死区等非线性因素，将直接影响系统的稳定性，严重时甚至产生振荡。

为了解决以上问题，现代数控机床正在尝试采用直线电机作为执行元件，采用直线电机驱动的系统，理论上可完全取消将旋转运动变为直线运动的机械传动部件，实现所谓的“零传动”，从而从根本上消除机械传动部件精度、刚度、间隙的影响，获得比传统进给系统更高的精度和速度。

1.3.5　通用伺服和专用伺服

1. 通用伺服

通用伺服是指驱动器本身具有闭环位置控制功能，可直接通过外部指令控制速度和位置的伺服驱动器及其配套电动机，其伺服驱动系统组成如图 1-24 所示。

通用伺服的驱动器具有闭环位置、速度、转矩控制功能，它可以通过伺服电动机内置编



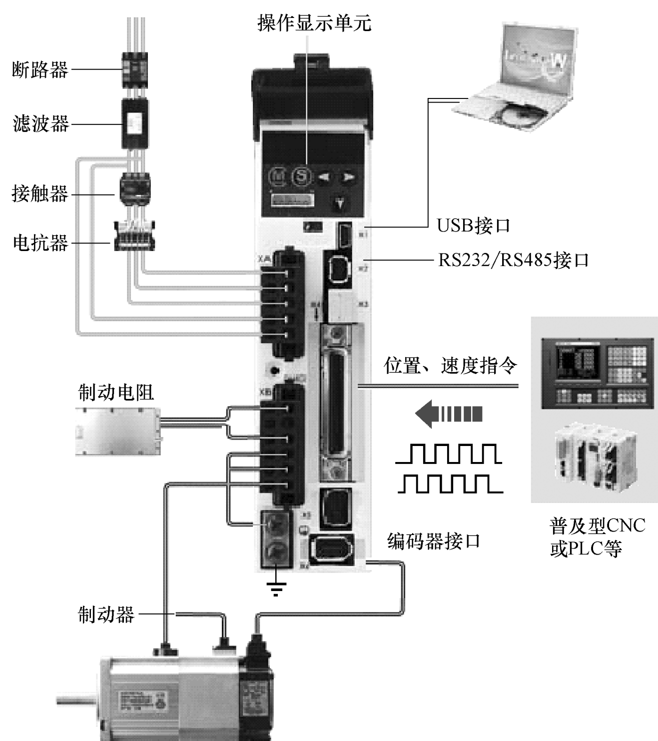


图 1-24　通用伺服系统的组成

码器，组成独立的闭环位置、速度、转矩系统。日本安川、三菱、松下等公司生产的驱动器是目前国内使用较多的通用伺服产品。

驱动器用于闭环位置控制时，位置指令一般以脉冲的形式输入，指令脉冲的频率和数量直接决定电动机的转速和转角。驱动器对指令脉冲的来源无要求，它既可与普及型 CNC 配套，也可与 PLC 配套构成 PLC 定位控制系统。脉冲输入接口一般可接收差分输出或集电极开路输出的标准信号，指令脉冲既可以是 90°相位差的正/反脉冲，也可以是脉冲 + 方向信号。

通用伺服是独立的控制部件，其参数设定、监控等操作，可通过驱动器配套的操作/显示面板实现，因此，它可以和任何普及型 CNC 配套使用。配套通用伺服的普及型 CNC 结构非常简单，CNC 不需要进行闭环位置控制和监控，也不需要进行编码器反馈信号的处理；但出于回参考点等动作的需要，编码器的零位脉冲需要输入到 CNC。

虽然通用伺服也可以通过串行总线进行通信，但这种网络控制形式只是以通信命令代替了外部信号，仍不是通过 CNC 实时控制坐标轴的运动，因此，机床的定位精度和轮廓加工精度完全决定于驱动器本身，这样的系统很难满足高速、高精度的加工需要。

通用伺服的编码器位置检测信号可以输出到外部，故也可以用于全功能型 CNC。这时，驱动器只作速度控制装置使用，其位置检测信号应连接到全功能型 CNC 上，通过 CNC 实现坐标轴的闭环位置控制。但是，这样将增加系统成本，故实际较少使用。

2. 专用伺服

全功能型 CNC 所使用的专用伺服驱动器本身不具备位置控制功能，坐标轴的闭环位置

控制需要通过 CNC 实现，驱动器实质只起到功率放大的作用，故又称伺服放大器。

使用专用伺服的驱动系统组成如图 1-25 所示，驱动器必须与 CNC 配套使用。

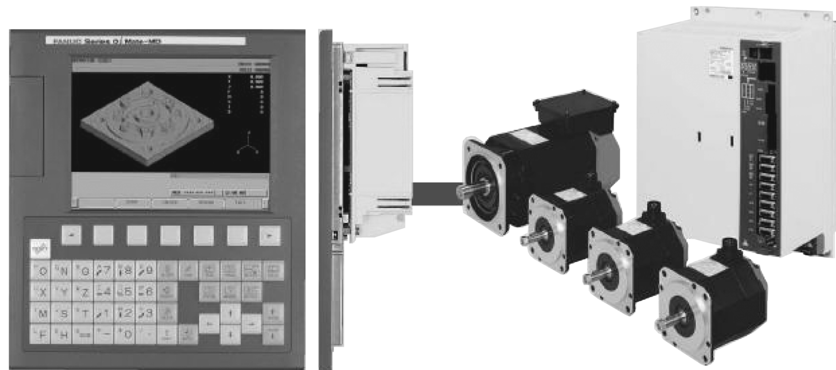


图 1-25　专用伺服系统的组成

专用伺服的位置控制通过 CNC 实现，因此，驱动系统的参数设定、状态监控、调试与优化等均可直接在 CNC 上实现。CNC 不但能实时监控运动部件的位置和速度，而且所有坐标轴都进行统一控制，确保刀具运动轨迹的准确无误。在先进的 CNC 上，还可通过“插补前加减速”、“AI 先行控制（Advanced Preview Control）”等前瞻控制功能，进一步提高轮廓加工精度，因此，其定位精度、加工精度要远远高于普及型 CNC。

目前，专用伺服的驱动器和 CNC 间一般通过专用总线连接，它需要采用专用的通信协议，对外无开放性，因此，驱动器不能独立使用，也不需要配套参数设定、监控等操作的操作/显示单元。

第2章

PLC 设计基础

2.1 PLC 组成与原理

2.1.1 PLC 特点与功能

如前所述，PMC（Programmable Machine Controller）只是用于机床控制的可编程序控制器（Programmable Logic Controller，PLC）的一种别称，两者并无实质性的区别。考虑到传统的习惯，并和 FANUC 公司统一名称，本章仍使用通用名称 PLC，并以地址 I、Q、M 表示 PLC 的输入、输出、内部继电器；梯形图中的符号也将使用 PLC 通用符号；但在本书后述 FANUC 系统的 PMC 程序设计内容中，将以 PMC 来代替 PLC，并以地址 X、Y、R 表示 PMC 的输入、输出、内部继电器等。

1. PLC 的产生与发展

PLC 是随着科学技术的进步与生产方式的转变，为适应多品种、小批量生产的需要，而产生、发展起来的一种新型工业控制装置。从 1969 年问世以来，虽然只有 40 年时间，但由于其通用性好、可靠性高、使用简单，因而在工业自动化的各领域得到了广泛的应用。曾经有人将 PLC 技术与数控技术（CNC）、CAD/CAM 技术、工业机器人技术并称为现代工业自动化技术的四大支柱。

PLC 最初是为了解决传统的继电器触点控制系统存在的体积大、可靠性低、灵活性差、功能弱等问题，而开发的一种自动控制装置。这一设想最早由美国最大的汽车制造商——通用汽车（GM）公司于 1968 年提出，1969 年由美国数字设备公司（DEC）率先研制出样机并获成功；接着，由美国 GOULD 公司在当年将其商品化并推向市场。1971 年，通过引进美国技术，日本研制出了第一台 PLC；1973 年，德国 SIEMENS 公司也研制出了欧洲第一台 PLC；1974 年，法国随之也研制出了 PLC。从此，PLC 得到了快速发展，并被广泛用于各种工业控制的场合。

PLC 的发展大致经历了以下 4 个阶段。

1970 ~ 1980 年：结构定型阶段。在这一阶段，各种类型的顺序控制器不断出现（如逻辑电路型、1 位机型、通用计算机型、单板机型等），但被迅速淘汰，最终以微处理器为核心的现有 PLC 结构形式取得了市场认可，并得以迅速推广；PLC 的原理、结构、软件、硬件趋向统一与成熟；其应用也开始向机床、生产线等领域拓展。

1980 ~ 1990 年：应用普及阶段。在这一阶段，PLC 的生产规模日益扩大，价格不断下降，应用被迅速普及。各 PLC 生产厂家的产品开始形成系列，相继出现了固定型、可扩展

型、模块化这 3 种延续至今的基本结构；其应用范围开始遍及顺序控制的全部领域。

1990～2000 年：性能提高阶段。在这一阶段，随着微电子技术的进步，CPU 的运算速度大幅度上升、位数不断增加、用于各种特殊控制的功能模块被不断开发，PLC 的功能日益增强，应用范围由最初的顺序控制向现场控制领域延伸。同时，PLC 的体积大幅度缩小，出现了各种小型化、微型化 PLC。

2000 年至今：高性能、网络化阶段。在本阶段，为了适应信息技术的发展与工厂自动化的需要，PLC 的功能不断开发与完善。PLC 在继续提高 CPU 运算速度、位数的同时，开发了适用于过程控制、运动控制的特殊功能与模块，应用范围开始拓展到工业自动化的全部领域。与此同时，为了适应 IT 技术的发展，PLC 的网络与通信功能得到迅速完善，PLC 不仅可以连接传统的编程与输入/输出设备，还可通过各种现场总线构成网络系统，它为工厂自动化奠定了基础。

当前，PLC 的网络化控制主要包括 I/O 网络化、内部设备网络化和系统网络化等。I/O 网络是 PLC 与远程 I/O 模块间的互联网，其实质是通过通信的手段，对 PLC 的 I/O 连接范围所进行的延伸与扩展，以省略 I/O 连接电缆与导线，故又称“省配线网”。内部设备网络是指 PLC 与设备内部其他控制装置之间的互联网，如 PLC 与变频器、伺服驱动器、温度自动控制与调节装置、现场控制设备的链接等，以便通过 PLC 对其他控制装置进行集中控制。系统网络是指生产现场多台设备、多种控制装置间的互联网，它可对众多的独立设备及控制装置进行集中统一的管理，构成 FMC、FMS、CIMS 等工厂自动化控制系统。

2. PLC 的特点

虽然 PLC 生产厂家众多，功能相差较大，但与其他类型的工业控制装置相比，它们都具有如下共同的特点。

1）可靠性高。作为一种通用的工业控制器，PLC 必须能够在各种不同的工业环境中正常工作。对工作环境的要求低、抗干扰能力强、平均无故障工作时间（MTBF）长是 PLC 在各行业得到广泛应用的重要原因之一。PLC 的可靠性与生产制造过程的质量控制及硬件、软件设计密切相关。

国外 PLC 的主要生产厂家通常都是大型著名企业，其技术力量雄厚、生产设备先进、工艺要求严格、质量控制与保证体系健全，可保证产品的生产制造质量。在硬件上，PLC 的输入/输出一般采用光耦合器，使内部与外部电路实现电隔离，提高了工作可靠性。在软件设计上，PLC 采用了特殊的循环扫描工作方式，大大提高了程序执行的可靠性；加上 PLC 的用户程序与系统程序相对独立，系统程序可进行用户程序的语法等错误的自动检查，用户程序很难影响系统程序的运行，故一般不会出现计算机常见的死机等故障。

2）通用性好。在硬件上，绝大多数 PLC 都采用了可扩展型或模块化的结构，其 I/O 信号数量和形式、动作控制要求等都可根据实际控制要求选择与确定，此外，还具有大量可满足不同的控制要求的特殊功能模块，其使用灵活多变，程序调整与修改、状态监控与维修均非常方便。在软件方面，PLC 采用了独特的、面向广大工程设计人员的指令表、梯形图、逻辑功能图、顺序功能图等形象、直观的编程语言，适合各类技术人员的传统习惯，其使用比其他工业计算机控制装置更容易。



PLC 与工业控制计算机（工业 PC）、集散控制系统（DCS）的主要区别如下。

1）PLC 与工业 PC。工业 PC 是以通用计算机为基础的工业现场控制设备，它具有标准化的总线结构，各机型间的兼容性好，与计算机间的通信容易，其兼容性与通信性能优于 PLC。工业 PC 的硬件与通用计算机类似，它不像 PLC 那样有较多的适应各种控制要求的功能模块可供选择，因此，其可靠性与通用性不及 PLC。工业 PC 可像通用计算机那样使用形式多样、功能丰富的应用软件，故可用于算法复杂、实时性强的控制，但对编程人员的要求较高；而 PLC 的程序通俗易懂、编程方便，程序的可靠性更高。

2）PLC 与 DCS。DCS 产生于 20 世纪 70 年代，它是在生产过程仪表控制基础上发展起来的计算机控制装置，功能侧重于模拟量处理、回路调节、状态显示等方面；PLC 是在继电器-接触器控制系统的基础上发展起来的计算机控制装置，功能侧重于开关量处理、顺序控制、逻辑运算方面。但是，随着各种特殊功能模块的不断开发和网络化，当代 PLC 可很容易地通过各种现场总线，构成完整的 PLC 网络控制系统，其应用范围正在向传统的 DCS 控制领域拓展。同样，DCS 也在不断开发、增加逻辑顺序处理功能，两者的功能已日趋接近。但由于 PLC 采用了特殊的软硬件设计，故在可靠性、灵活性上与 DCS 相比仍具有一定优势。

3. PLC 的功能

PLC 的主要功能如图 2-1 所示。

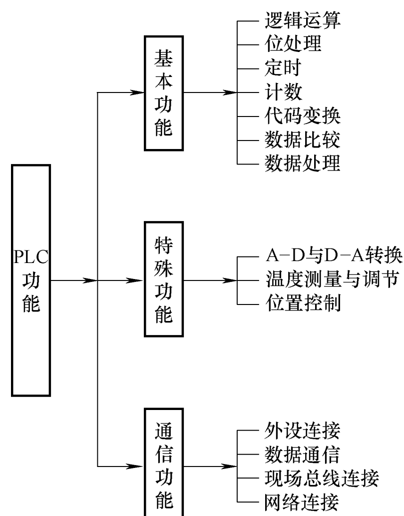


图 2-1　PLC 功能

1）基本功能。逻辑控制功能是 PLC 的基本功能。从本质上说，这是一种以计算机二进制“位”运算为基础，按照程序要求，通过对开关量信号（如按钮、行程开关、接触器触头等）的逻辑运算处理，控制执行元件（如指示灯、电磁阀、接触器线圈等）通/断的功能。在早期的 PLC 上，顺序控制所需要的定时、计数功能需要通过定时模块与计数模块实现，但目前它们已成为 PLC 的基本功能之一；此外，逻辑控制中常用的代码转换、数据比较与处理等也是 PLC 基本功能。

2）特殊控制功能。在 PLC 上，除基本逻辑处理外的其他功能称为特殊功能，如模-数（A-D）转换、数-模（D-A）转换、温度/流量/压力的调节与控制、速度/位置的控制等，这些特殊控制功能一般需要通过 PLC 的特殊功能模块实现。A-D 转换与 D-A 转换多用于过程控制与闭环调节系统。通过特殊功能模块与功能指令，PLC 可以对过程控制中的温度、压力、流量、速度、位移、电压、电流等连续变化的物理量进行数字化处理，并通过相应的运算（如 PID）实现闭环自动调节。PLC 的速度/位置控制一般是通过速度/位置控制模块实现，它以模拟量/脉冲的形式输出，可通过变频器、伺服驱动器实现闭环速度与位置控制。

3）网络通信功能。随着信息技术的发展，网络与通信在工业控制中已越来越重要。PLC 早期的通信，一般局限于 PLC 与外设（编程器或编程计算机等）间的简单通信，当代 PLC 不仅可进行 PLC 与外设间的通信，而且可以在 PLC 与 PLC 间、PLC 与其他工业控制设备之间、PLC 与上位机之间、PLC 与工业网络间通信，通过现场总线、网络总线组成系统，PLC 可以方便地进入工厂自动化系统。

2.1.2　PLC 组成与结构

1. PLC 组成

通用 PLC 系统的组成如图 2-2 所示，完整的 PLC 系统由控制对象、执行元件、检测元件、PLC、编程/操作设备等组成。

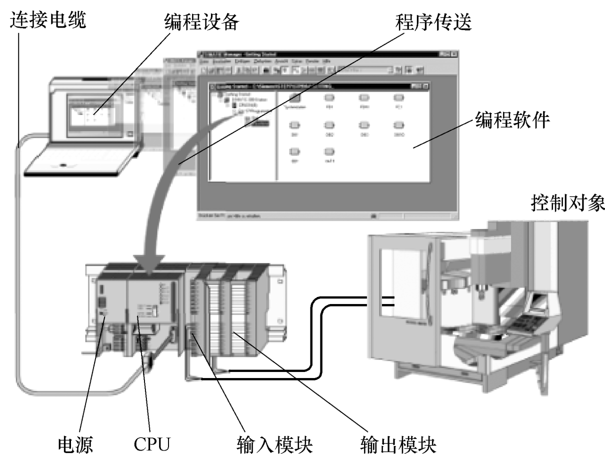


图 2-2　PLC 系统的组成

图中的电源、CPU、输入/输出模块为 PLC 的基本组件，故又称 PLC 主机（简称 PLC）；由 PLC 输出控制的执行元件、与 PLC 输入连接的检测元件以及编程/操作设备，称为 PLC 的外设。

虽然 PLC 种类繁多、性能各异，但它们都具有图 2-3 所示的基本硬件。

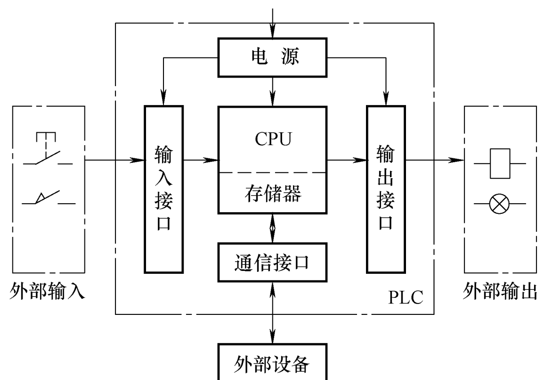


图 2-3　PLC 的硬件组成框图

（1）电源

电源用来产生 PLC 内部电子器件、集成电路工作的直流电压，小型 PLC 的电源还可由外部提供，作为 PLC 的直流输入驱动电源；但由 PLC 输出控制的负载驱动电源一般需要外部提供。

（2）CPU

CPU 是决定 PLC 性能的关键部件，其型号众多、性能差距很大。现代 PLC 的 CPU 一般为 16 位或 32 位处理器，大中型 PLC 还常采用双 CPU、多 CPU 的结构。

（3）存储器

PLC 的存储器分为系统存储器、用户程序存储器、数据存储器 3 类。

系统存储器用于 PLC 系统程序的存储，一般采用 ROM、EPROM 等只读存储器件，系统程序主要包括管理程序、命令解释程序、中断控制程序等，它由 PLC 生产厂家编制并安装，用户不能对此进行更改。

用户程序存储器（简称用户存储器）用来保存 PLC 用户程序，其存储容量经常用“步（Step）”作为单位，1 步是指 1 条 PLC 基本逻辑运算指令，如输入、输出、逻辑与、逻辑或



等所占的存储器字节数。多数 PLC 的 1 步相当于 4 字节。用户存储器通常使用电池保持型 RAM、EPROM、EEPROM、Flash ROM 等非易失存储器件。

数据存储器用来存储 PLC 程序执行的中间信息，相当于计算机的内存。执行 PLC 程序所需要的输入/输出映像、内部继电器、定时器、计数器、数据寄存器的状态均存储于数据存储器中。数据存储器的状态在 PLC 程序执行过程中需要动态改变，故多采用 RAM 器件，存储内容一般在关机时自动清除，但部分内部继电器、定时器、计数器、数据寄存器的状态可用电池保持。

（4）输入接口

输入接口的作用是将外部输入信号转换为 PLC 内部信号，它可将外部开关信号转换成内部控制所需的 TTL 电平，或将模拟电压转换成数字量（A-D 转换）等。PLC 的输入接口一般由连接器件、输入电路、光电隔离电路、状态寄存电路等组成，电路的形式在不同的输入模块上有所不同。

（5）输出接口

输出接口的作用是将 PLC 内部信号转换为外部负载控制信号，它可将 CPU 的逻辑运算结果转换成控制外部执行元件的开关信号，或将数字量转换为模拟量（D-A 转换）等。PLC 的输出接口一般由状态寄存电路、光电隔离电路、输出驱动电路、连接器件等组成，电路的形式在不同的输出模块上有所不同。

（6）通信接口

通信接口的作用是实现 PLC 与外设间的数据交换。利用通信接口，PLC 不但可与编程器、人机界面、显示器等连接，而且也可与上级计算机、其他 PLC 或远程 I/O 单元连接，以构成 PLC 网络控制系统。

PLC 的通信接口一般为 USB、RS232、RS422/485 等标准串行接口。USB、RS232 接口常用于 PLC 与编程器、编程计算机、人机界面的通信，其传输距离一般在 15m 以内，传输速率在 20kbit/s 以下，故不能用于高速、远距离通信。RS422/485 接口常用于 PLC 与其他 PLC、变频器、伺服驱动器等控制装置的全双工/半双工通信，其传输距离最大可达 1200m 左右，传输速率为 10Mbit/s 左右，适合于远距离通信。

2. PLC 结构

PLC 的基本硬件结构可分为固定型、可扩展型、模块式、集成式、分布式 5 种。

（1）固定型 PLC

固定型 PLC 亦称微型 PLC，其结构如图 2-4 所示，它采用整体结构、I/O 点数固定，PLC 的处理器、存储器、电源、输入/输出接口、通信接口等都安装于基本单元上，无扩展模块接口，I/O 点数不能改变。

固定型 PLC 的结构紧凑、安装简单，适用于 I/O 点数较少（10 ~ 30 点）的机电一体化设备或仪器的控制，或作为普及型 CNC 的外置 PLC 使用。

作为功能的扩展，此类 PLC 一般可以安装少量的通信接口、显示单元、模拟量输入等内置功能选件，以增加少量的功能。

（2）可扩展型 PLC

可扩展型 PLC 如图 2-5 所示，它由整体结构、I/O 点数固定的基本单元和扩展 I/O 模块构成。PLC 的处理器、存储器、电源及固定数量的输入/输出接口、通信接口等均安装于基

本单元上；基本单元上的扩展接口可连接扩展 I/O 模块或功能模块，进行 I/O 点数或功能的扩展。

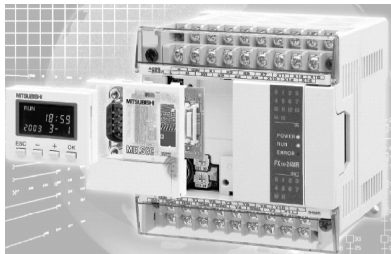


图 2-4　固定型 PLC

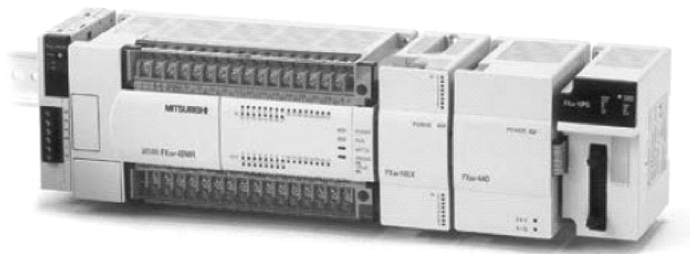


图 2-5　可扩展型 PLC

可扩展型 PLC 同样具有结构紧凑、安装简单的特点，且可根据设备控制要求增加 I/O 点或功能模块，灵活适应各种控制要求。这种 PLC 与模块化 PLC 的主要区别在于，PLC 的基本单元本身带有固定的 I/O 点，可以独立使用；扩展模块不需要安装基板或基架。可扩展型 PLC 的最大 I/O 点数可达 256 点以上；功能模块的规格与品种较多，在通用机电一体化产品中的用量较大；它是小型 PLC 的常用结构，也常作为普及型 CNC 的外置 PLC 使用。

（3）模块式 PLC

模块式 PLC 如图 2-6 所示，PLC 由电源、中央处理器、输入/输出模块、通信模式等模块组成，模块统一安装在带连接总线的基板或基架上。

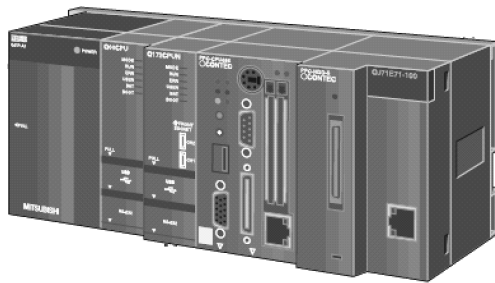


图 2-6　模块式 PLC

模块式 PLC 可连接的 I/O 模块、功能模块的数量多，容易构成大中型 PLC 系统；PLC 的全部组成模块均可由用户自由选择，配置灵活。模块式 PLC 的 I/O 点可达 1024 点以上，可连接各种开关量 I/O 以及模拟量输入/输出、位置控制、温度测量与调节、网络通信等功能模块，可用于复杂机电一体化产品与自动线的控制。

部分大型、全功能数控系统有时使用模块式 PLC 作为辅助控制装置，此类 PLC 需要选配 CNC 与 PLC 通信的专用总线接口模块，并有大量固定地址的 CNC 与 PLC 内部 I/O 信号需要通过 PLC 程序予以处理，其他与模块式 PLC 完全相同。

（4）集成式 PLC

集成式 PLC 是中小型全功能数控系统常用的辅助控制装置，用于数控机床刀具、工作台自动交换，冷却、主轴起停，夹具松/夹等辅助机能的控制。

集成式 PLC 与 CNC 集成一体，PLC 的电源和 CPU 多与 CNC 共用，故不能独立使用。集成式 PLC 的输入/输出一般以 I/O 单元或模块的形式安装，I/O 点数多、模块种类少、输入/输出规格固定、用途单一，通常不能选择特殊功能模块。

集成式 PLC 可直接利用 CNC 的操作面板与显示器，进行程序编辑、调试与状态监控，PLC 与 CNC 间有大量固定地址的 I/O 信号需要通过 PLC 程序处理；此外，PLC 还设计有专门用于数控机床控制用的功能指令。

（5）分布式 PLC



分布式 PLC 如图 2-7 所示，它由“主站（Master）”和“从站（Slave）”组成，从站可安装于不同的工作场所，主站与从站之间通过总线连接，故可用于大型生产设备的远程控制。

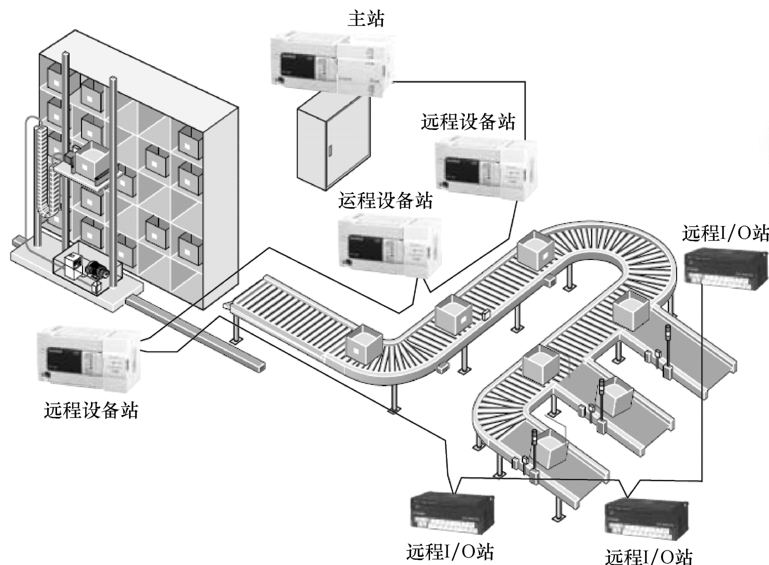


图 2-7　分布式 PLC 的组成示意图

分布式 PLC 的主站一般为模块化 PLC，从站可以是 PLC 的分布式 I/O 模块或功能模块（称为远程 I/O 站），或是 PLC、CNC、伺服驱动器、变频器等控制装置（称为远程设备站）；前者构成了分布式 PLC 网络系统，后者是以 PLC 为核心的现场控制系统。

3. PLC 分类

PLC 的产品分类方法较多，按 PLC 的硬件结构，可分为上述的固定型、可扩展型、模块式、集成式、分布式 5 类，按 PLC 的规模，则可分为小型、中型和大型 3 类。PLC 的规模一般以 PLC 可连接的最大 I/O 点数和最大用户程序存储器容量衡量，I/O 点数越多、存储器容量越大，能够组成的系统就越大。

（1）小型 PLC

根据通常习惯，最大 I/O 点数在 256 点以下的 PLC 称为小型 PLC（或微型 PLC）。小型 PLC 一般采用固定型或可扩展型结构，用户程序存储器的容量通常在 8000 步以内；PLC 的内部继电器、定时器、计数器、数据寄存器的数量相对较少；应用指令、功能模块的数量也有一定的限制。

小型 PLC 的体积小、价格低，适用于简单机电一体化设备或自动化仪器仪表的控制，它是 PLC 中产量最大的品种。

（2）中型 PLC

最大 I/O 点数为 256 ~ 1024 点的 PLC 称为中型 PLC。中型 PLC 一般采用模块式结构，用户程序存储器的容量通常在 16000 步以上；内部继电器、定时器、计数器、数据寄存器的数量较多；应用指令、功能模块的数量很多，通信能力较强。

中型 PLC 的配置灵活、功能强，它既可用于中等复杂程度的机电一体化设备控制，也可用于小型生产线与过程控制的压力、流量、温度、速度、位置等控制。

（3） 大型 PLC

最大 I/O 点数在 1024 点以上的 PLC 称为大型 PLC。大型 PLC 均采用模块式结构；用户程序存储器的容量通常在 32000 步以上；PLC 的内部继电器、定时器、计数器、数据寄存器的数量众多；应用指令、功能模块丰富；网络功能强大，可构建大型 PLC 网络控制系统或车间自动化控制系统。大型 PLC 还具有多 CPU、冗余控制功能，可用于高速、高可靠性的控制场合。

2.1.3 PLC 工作原理

虽然 PLC 本质上也是一种计算机工业控制装置，但为了保证它能在工业环境下使用和安全可靠工作，其工作过程、工作原理、编程方法等与其他计算机控制装置有较大区别。

1. 工作过程

PLC 的用户程序执行过程如图 2-8 所示的输入采样、程序处理、通信处理、CPU 诊断、输出刷新 5 步进行，并无限重复，这种执行方式称为循环扫描（Scan Cycle）。

（1） 输入采样

输入采样又称输入读取（Reads the inputs），在这个阶段，CPU 将一次性读入全部输入信号的状态，并将其保存到输入寄存器中。PLC 的输入采样与输入端是否连接有实际信号无关，没有使用的输入端，其读入的状态为 0。

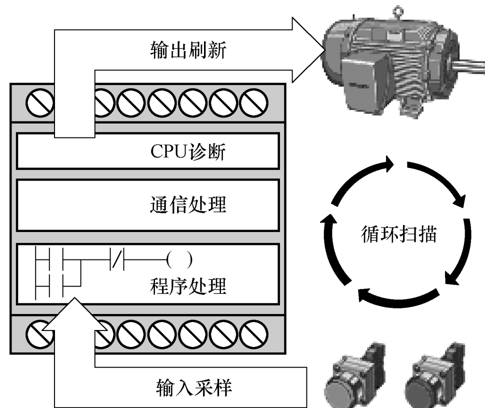


图 2-8 PLC 的循环扫描

这种处理方式称为输入集中批处理，输入寄存器的状态称作“输入映像”，PLC 在处理用户程序时，输入映像将替代实际输入信号在程序中使用。由于输入映像的状态可一直保持到下次输入采样，因此，即使实际输入信号的状态在程序处理阶段发生了变化，仍可保持本次程序处理时，信号只有唯一的状态，从而保证了程序执行结果的唯一性。

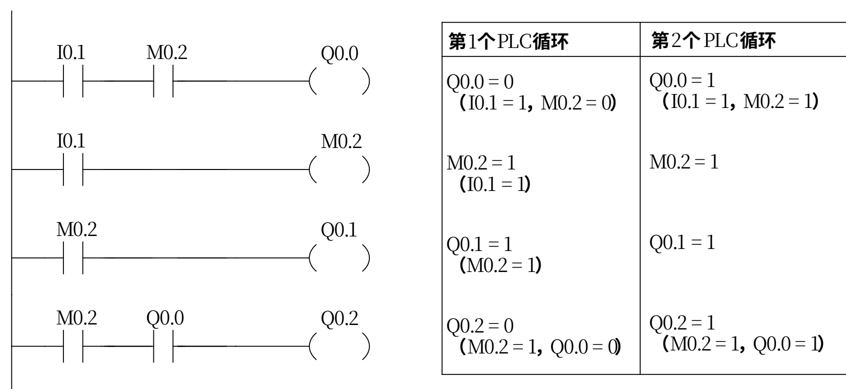
（2） 程序处理

PLC 的程序处理（Execute the Program）在输入采样完成后进行。PLC 处理用户程序时，将根据输入映像、输出映像的状态，对于不同输出线圈按从上到下、对于同一线圈的控制支路按自左向右的次序，进行要求的逻辑运算处理，并立即将处理结果保存到相应的结果寄存器中。结果寄存器的状态可立即用于随后的程序，如程序中使用了“重复线圈”编程，还可改变结果寄存器的状态。

图 2-9 为输入信号 I0.1 由状态 0 变为 1 后，PLC 进行首次和第 2 次程序处理时的结果寄存器（输出）状态变化过程。

在 I0.1 由 0 变为 1 的首次执行循环中，处理指令第 1 行时，由于 M0.2 的状态仍为上次循环的执行结果 0，故 Q0.0 的结果为 0。当 PLC 处理到指令第 2 行时，由于本次输入采样的 I0.1 状态为 1，M0.2 的结果将为 1，这一结果将立即用于随后的指令第 3 行，使 Q0.1 的结果为 1；但是，它不能改变已经处理完成的、第 1 行指令的 Q0.0 结果，故处理指令第 4 行后，Q0.2 的结果为 0。因此，首次循环处理后的输出状态为 Q0.0 = 0、Q0.1 = 1、Q0.2 = 0。





第1个PLC循环	第2个PLC循环
Q0.0 = 0 (I0.1 = 1, M0.2 = 0)	Q0.0 = 1 (I0.1 = 1, M0.2 = 1)
M0.2 = 1 (I0.1 = 1)	M0.2 = 1
Q0.1 = 1 (M0.2 = 1)	Q0.1 = 1
Q0.2 = 0 (M0.2 = 1, Q0.0 = 0)	Q0.2 = 1 (M0.2 = 1, Q0.0 = 1)

图 2-9　PLC 程序处理过程

当 PLC 执行第 2 次循环时，M0. 2 将使用首次循环的执行结果 1，故处理完成后的输出状态为 Q0. 0 = 1、Q0. 1 = 1、Q0. 2 = 1。

（3） 通信处理

通信处理（Process any Communications Requests）仅在需要时进行。CPU 诊断结束后，进行通信请求检查，决定 PLC 是否需要与编程器等外设或网络进行通信，并进行相关的数据输入/输出处理。

（4） CPU 诊断

CPU 诊断（Perform the CPU Diagnostics）是 CPU 对 PLC 硬件、连接、存储器状态、用户程序执行情况等进行的检查，如发现异常，PLC 将停止运行、发出报警、内部产生出错标志等处理。此外，CPU 还具有程序循环时间监控功能，可防止程序错误引起的“死循环”。

（5） 输出刷新

输出刷新（Writes to the outputs）是 PLC 的输出集中批处理过程，在该阶段，CPU 将输出结果寄存器的状态（输出映像）一次性输出到外部，以控制执行元件动作。尽管在用户程序的执行过程中，输出映像的状态可能会因为重复线圈等的编程而改变，但 PLC 向外部的输出状态，总是为全部程序执行完成后的最终状态，因此，它是唯一的。

PLC 完整地执行一次以上处理的时间，称为 PLC 程序循环时间或扫描周期，它与 PLC 的 CPU 速度、用户程序大小等诸多因素有关，是 PLC 的重要技术参数。

以上过程中的通信处理、CPU 诊断为 PLC 的公共处理，它与用户程序的执行无直接关联，因此，单纯从 PLC 的用户程序执行角度理解，也可认为 PLC 需要进行图 2-10 所示的输入采样、程序处理、输出刷新 3 个基本步骤，其工作过程可简要概括如下。

1） PLC 一次性将全部输入信号读入到输入缓冲寄存器，生成“输入映像”。

2）PLC 依据本循环所读入的输入映像及当前时刻的结果寄存器状态，进行逻辑处理，并立即将结果写入指定的结果寄存器中。

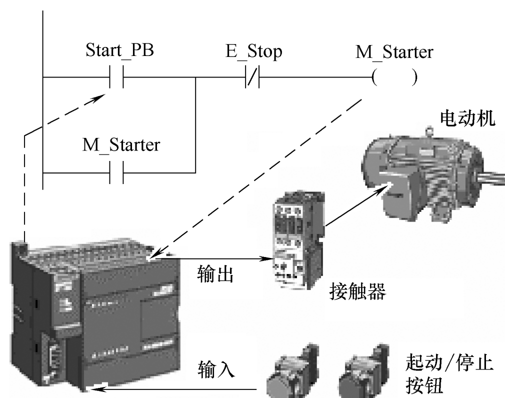


图 2-10　PLC 程序的处理过程

3）程序处理完成后，PLC 一次性将全部输出映像输出到外部。

2. 等效电路

PLC 用于开关量逻辑运算处理时，其工作原理可用图 2-11 所示的继电器电路进行等效描述。

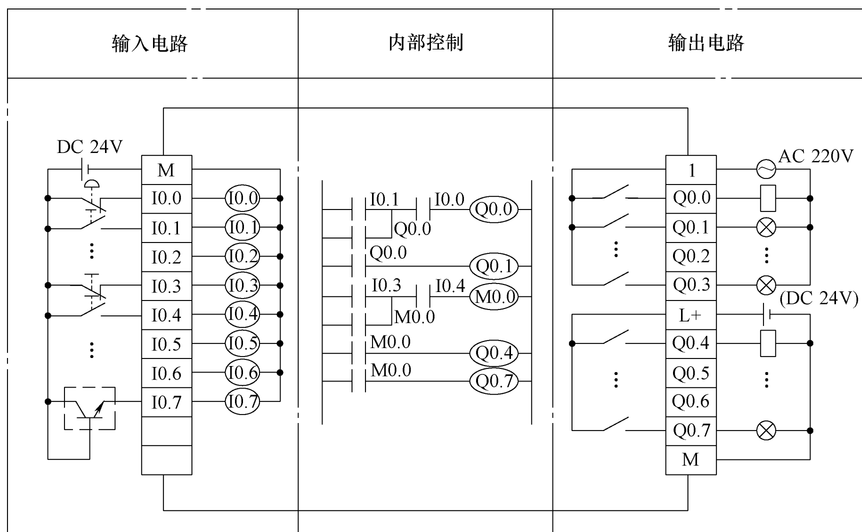


图 2-11　PLC 等效电路图

图中，以输入电路等效代替了 PLC 的实际输入接口及输入采样处理；以继电器控制电路代替了用户程序处理；以输出电路代替了 PLC 的实际输出接口及输出刷新处理。需要说明的是，等效电路仅是为了更好地理解 PLC 工作原理而虚拟的电路，而不是 PLC 的内部电路，例如，实际 PLC 中并不存在图示的 I0.1 ~ I0.7 等输入继电器。

1）输入电路。输入电路的输入继电器相当于实际 PLC 中的输入映像。输入继电器与输入信号一一对应，当外部输入 ON 时，继电器线圈得电，继电器控制电路中的触点接通。由于 PLC 的输入映像只是输入寄存器的状态，它可在程序中无限次使用，因此，应认为等效电路中的输入继电器具有无限对触点。此外，由于绝大部分 PLC 都不允许用户程序对输入进行赋值，故应认为等效输入继电器不能通过等效控制电路接通，控制电路只能使用其触点。

2）输出电路。相当于 PLC 的输出接口及输出刷新处理，输出继电器线圈与输出状态寄存器一一对应，当线圈接通时，输出触点接通。由于 PLC 的输出映像同样只是输出结果寄存器的状态，它不仅可输出到外部，而且也在程序中无限次使用其状态，因此，应认为等效电路中的输出继电器对外只能连接一个执行元件，但在等效继电器控制电路中却可无限次使用其触点。

3）控制电路。等效继电器控制电路由 PLC 用户程序转化而来，PLC 程序中的定时器、计数器也可用时间继电器、计数器等效，但其精度更高、范围更大；PLC 程序中的内部继电器，则应理解为无外部输出触点的、但能在控制电路中无限次使用其触点的继电器。

简言之，可将 PLC 输入视为具有无限触点、但只能由输入信号驱动的继电器线圈；将 PLC 输出视为具有无限内部触点、但只有一对输出触点的继电器；将 PLC 的内部继电器视为具有无限触点、但不能控制输出的继电器；而将 PLC 用户程序视为继电器控制电路。



3. 主要特点

PLC 的程序处理特点主要体现在输入/输出集中批处理和程序处理的循环扫描上，其主要特点如下。

1）可靠性高。由于 PLC 程序处理时使用的是提前采样的输入映像状态，它在程序处理过程中不会因实际输入信号的状态变化而发生变化，从而保证了输入状态的唯一性，大大方便了程序设计，提高了软件可靠性。

2）处理速度快。集中批处理可以一次性完成全部输入/输出的状态更新，无须在程序处理过程中，对指令信号进行单独采样，大大节省了采样时间，提高了 PLC 处理速度。

3）程序设计方便。输入/输出映像为寄存器的二进制状态，在程序中也可以用字节、字、双字的形式使用，其编程方便。此外，利用输入映像在同一扫描循环中状态不变的特点，还可方便地生成边沿信号；而利用输出集中批处理的特点，在程序中可对输出进行多次赋值，随时更新输出映像，实现继电器电路不能实现的动作。

4）PLC 程序的处理过程只是单次处理过程的无限循环，因此，只要调试完成，便可保证长期稳定工作，大大减少了软件随机出错的可能性。

2.2　梯形图程序设计

2.2.1　PLC 编程语言

PLC 编程语言有梯形图、指令表、逻辑功能块图、顺序功能图以及 BASIC、Pascal、C 或结构化文本等。绝大多数采用中小型 PLC 的机电一体化设备、数控机床目前多采用梯形图进行编程。

1. 梯形图

梯形图（Ladder Diagram，简称 LAD）是一种沿用了继电器的触点、线圈、连线等图形符号的图形编程语言，它在 PLC 编程中最为常用。梯形图编程时，程序中的操作数以触点、线圈等图形符号代替，逻辑操作指令“与”、“或”用触点的串、并联表示；逻辑“非”用“常闭”触点进行表示；逻辑运算结果用“线圈”表示，其程序形式与继电器-接触器控制电路十分相似。

梯形图程序的最大特点是通俗易懂，不同厂家生产的 PLC 程序形式类似，阅读与理解非常容易，而且还能够进行图 2-12 所示的动态监控，其程序形象、直观，并能反映触点、线圈、线路的通/断情况。

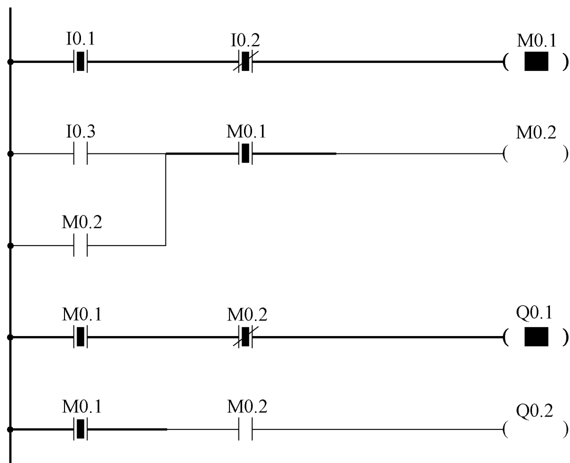


图 2-12　梯形图动态监控显示

图 2-12 中，加粗的显示代表触点、线圈、电路已接通，它清晰地反映出内部继电器 M0.1、输出 Q0.1 的状态为 1；而 M0.2 由于 I0.3 未接通而输出 0 状态；Q0.2 由于 M0.2 触点未接通而输出 0 状

态；图形简单明了、程序检查与维修十分方便。

梯形图编程除常用的图形符号外，还可使用部分区别于继电器触点控制电路的编程指令，如边沿信号、置位/复位、定时/计数等。此外，梯形图程序的执行过程也与继电器电路有本质的区别，具体内容将在后续的章节中予以详细介绍。

2. 指令表

指令表（Statement List，简称 STL 或 LIST）是一种使用助记符的 PLC 编程语言，它类似于计算机的汇编语言，但它比汇编语言通俗、易懂。指令表在 PLC 各种编程语言中应用最早，它是 PLC 最基本的编程语言，任何 PLC 指令都可使用指令表进行编程。部分无法利用梯形图及其他编程语言无法表示的程序，只有使用指令表才能编程。

指令表程序可使用简易编程器进行编辑；当梯形图编程错误时，有时需要将其转换成指令表后，才能进行修改，因此，即使采用梯形图编程的 PLC，目前仍离不开指令表。

指令表程序的每条指令由“指令代码”与“操作数”两部分组成，为了实现程序跳转，指令前还可能增加有跳转标记。指令表编程时，程序中的状态读入、“与”、“与非”、“或”、“或非”、“输出”等指令代码，在不同 PLC 上可以用 LD、A、AN、O、ON、= 或 RD、AND、AND. NOT、OR、OR. NOT、WRT 等简单助记符表示，而输入、输出、内部继电器等则可用 I0. 1、Q0. 2、M0. 1 或 X0. 1、Y0. 2、R0. 1 等操作数表示。例如，图 2-12 所示的梯形图程序在 SIEMENS 公司生产的 PLC 中，其指令表程序如下。

```
NETWORK  1          //NETWORK TITLE
//
//NETWORK  COMMENTS
//
LD      I0.1
AN      I0.2
=       M0.1

NETWORK  2
LD      I0.3
O       M0.2
A       M0.1
=       M0.2

NETWORK  3
LD      M0.1
AN      M0.2
=       Q0.1

NETWORK  4
LD      M0.1
A       M0.2
=       Q0.1
```



3. 逻辑功能块图

功能块图（Function Block Diagram，FBD）又称控制系统框图（Control System Flowchart，CSF），这是一种沿用了电子线路的逻辑门、触发器、连线等图形符号的图形编程语言，是 DIN 40700（德国）标准规定的编程语言。

采用功能块图编程时，PLC 程序中的“与”、“或”、“非”、置/复位、数据比较等操作均可用电子线路中的“与门”、“或门”、“非门”、“RS 触发器”、“数据比较器”等图形符号表示，程序形式如图 2-13 所示，它与电子线路十分相似。

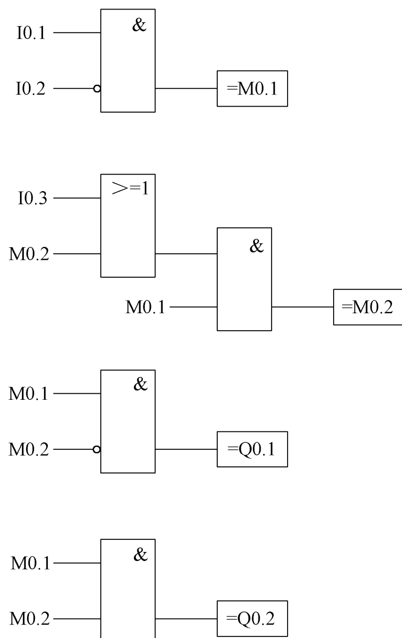


图 2-13　功能块图程序

功能块图同样具有直观、形象的特点，特别有利于具有电子技术基础的人员阅读与理解。功能块图还可用触发器、计数器、比较器等电子线路符号，形象地表示其他图形编程语言无法表示的 PLC 应用指令。

功能块图的程序简洁、结构紧凑、逻辑关系清晰、显示容易，在表示多触点串联等逻辑运算时，同样一页显示页面，可显示比梯形图更多的信息。

功能块图的动态检测与梯形图同样形象、直观，因此，在具备功能块图编程功能的 PLC 上，采用功能块图编程往往比梯形图编程更加简单、方便。

4. 顺序功能图

顺序功能图（Sequential Function Chart，SFC）是一种按工艺流程图进行编程的图形编程语言，适合于非电气专业的技术人员使用，近年来已开始逐步推广。

顺序功能图的设计思想类似于子程序调用。设计者首先按控制要求，将机床的动作划分为若干工步（简称步），并通过不同的编程元件（称状态元件），对每一步赋予独立的标记。程序编制时，只需要明确每一步需要执行的动作及条件，程序中可利用控制条件对相应的状态元件进行“置位”或“复位”，便可选择需要的执行工步。

SFC 编程总体是一种基于机械控制流程的编程语言，但各公司产品的实现方式有所不同。例如，三菱公司采用的是图 2-14 所示的“步进梯形图”编程方式，这种编程方法具有 SFC 编程同样的特点，程序执行都是根据控制条件，来选择相应的步，而每一步的动作则采用了梯形图进行编程。

采用 SFC 编程时，程序设计者只需要确定机械的动作和条件，利用分支流程对程序步进行组织与管理，便可完成程序设计。因此，它无须像梯形图编程那样，需要在程序中进行互锁等处理，它对设计人员的要求相对较低，容易被非电气技术人员掌握。

除以上常用编程语言外，在一些大、中型 PLC 上，为了完成复杂的控制功能，通常需要采用功能强大的 CPU 与大容量存储器，并具有开关量逻辑处理、模拟量处理、数值运算、通信等功能。这种 PLC 有时需要通过计算机常用的 BASIC、Pascal、C 等高级语言，进行结构化编程。

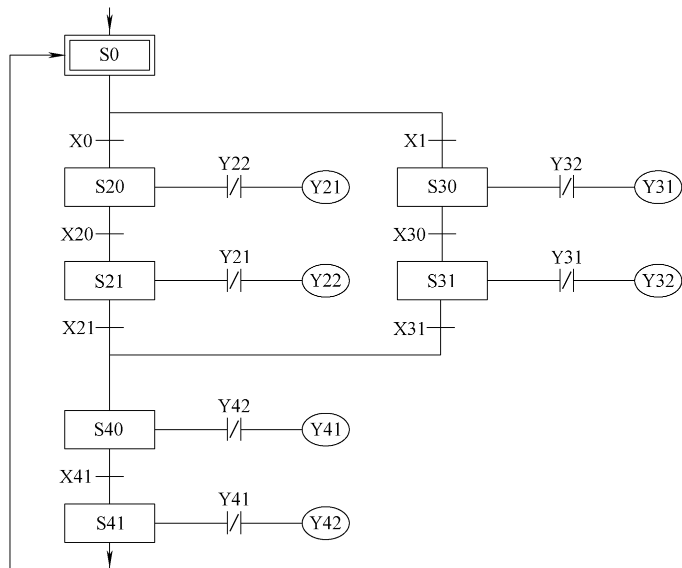


图 2-14　SFC 程序示例

BASIC、Pascal、C 等语言的编程方法与计算机类似，但在不同公司生产的 PLC 上，其格式、功能有所区别，使用时应根据 PLC 说明书进行编程，由于它在数控机床上使用较少，本书中将不再对此进行介绍。

2.2.2　梯形图编程

1. 梯形图的组成

开关量逻辑顺序控制是 PLC 最主要的功能，由于其程序简单、编程容易，为了便于识读、检查、监控，人们普遍采用梯形图编程。梯形图是沿用了继电器的触点、线圈、连线等图形符号的图形编程语言，两者的形式类似，触点、线圈、连线是组成梯形图程序的三要素。

1）触点。采用梯形图编程时，开关量输入/输出、内部继电器等的二进制状态可用触点进行表示。但是，梯形图中的触点本质上是 PLC 内部存储器二进制数据位的状态，程序中的常开触点表示直接以该二进制位的状态进行逻辑运算；常闭触点表示使用该二进制位的“逻辑非”状态进行运算。因此，它与继电器触点控制电路中的触点的区别在于：第一，触点可以在 PLC 程序中无限次使用，它不像物理继电器那样受到实际触点数量的限制；第二，触点具有唯一的状态，在任何时刻，常开、常闭触点不可能同时为 1。

2）线圈。采用梯形图编程时，逻辑运算结果可用内部继电器、输出继电器等编程元件的线圈表示。但是，梯形图程序中的线圈并非实际的物理继电器，它只是对 PLC 内部某一存储器的二进制数据位进行赋值操作，线圈接通是将该二进制数据位置 1；线圈断开是将该二进制数据位置 0。因此，它与继电器控制电路中的线圈的区别在于：第一，如果需要，二进制数据位可在程序中多次赋值，即梯形图编程时可使用“重复线圈”；第二，梯形图程序严格按从上至下、从左至右的次序执行，在同一 PLC 执行循环内，它不能改变已处理完成的输出状态，故可以设计出许多区别于继电器控制电路的特殊逻辑，如边沿处理等。



3）连线。梯形图程序中的逻辑处理顺序用“连线”表示，但它不像继电器触点控制电路那样存在实际电流，因此，梯形图程序中的每一输出线圈都应有明确的逻辑关系，而不能使用类似继电器触点控制电路中的“桥接”方式，试图通过后面的执行条件来改变前面的线圈输出状态。

2. 梯形图基本符号

采用梯形图编程时，逻辑运算式、处理对象、结果输出等均可以用触点、线圈、连接等基本符号表示。在不同 PLC 上，触点、线圈等逻辑梯形图的符号基本类似，表 2-1 为梯形图编程常用的符号表。

表 2-1　梯形图编程常用的符号表

名　　称	梯形图符号	名　　称	梯形图符号
触点(常开)	—|　|—	线圈(输出)	—(　)
触点(常闭)	—|/|—	中间结果存储	—(#)
取反	—|NOT|—	取反输出	—○(　)
上升沿检测	—|P|—	输出复位	—(R)
下降沿检测	—|N|—	输出置位	—(S)

表中的上升/下降沿检测、结果取反、中间结果存储等梯形图编程，是 SIEMENS 等公司 PLC 可使用的特殊符号，在 FANUC 集成 PMC 上一般不能使用，说明如下。

1）上升/下降沿检测。上升/下降沿检测指令是对 CPU 当前运算结果状态变化的检测，如图 2-15 所示，当 CPU 当前的运算结果由状态 0 变为状态 1（上升沿检测），或者由状态 1 变为状态 0（下降沿检测），可输出宽度为 1 个 PLC 循环周期的脉冲信号。如指令前只有一个触点，其作用就相当于读取该触点的上升或下降沿。

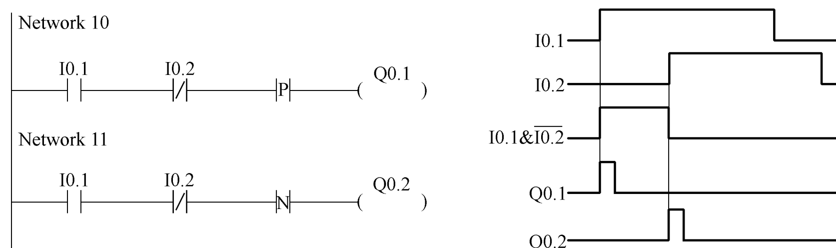


图 2-15　边沿检测

2）结果取反。该指令的作用是将 CPU 当前的运算结果寄存器的状态进行“取反”操作。例如，对于图 2-16 所示的梯形图程序，当 I0.0 和 I0.1 的状态相同时，执行 NOT 指令前的 CPU 运算结果为 1；执行 NOT 指令后，其运算结果存储器的状态将变为 0，故 M0.1 的输出状态为 0；反之，如 I0.0 和 I0.1 的状态不同，执行 NOT 指令前的 CPU 运算结果将为 0，故 M0.1 的输出状态为 1。

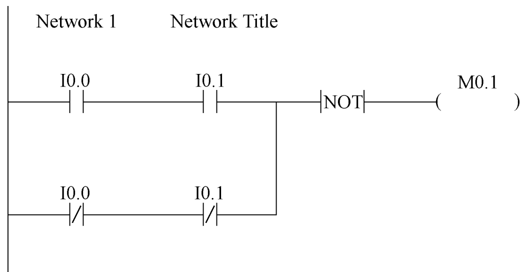


图 2-16　结果取反

3）中间结果存储。指令可将 CPU 当前的运算结果保存到中间存储单元上，然后继续进行其他运算。例如，对于图 2-17 所示的

程序，当 I0.0 和 I0.1 的状态相同时，执行指令后 M0.0 的状态为 1，而 M0.1 的状态为 0；反之，当 I0.0 和 I0.1 的状态不同时，M0.0 的状态为 0，M0.1 的状态为 1。

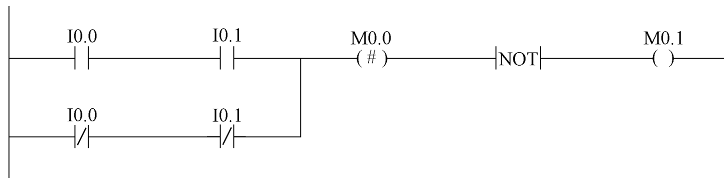


图 2-17　中间结果存储

2.2.3　典型梯形图程序

尽管 PLC 的控制要求多种多样，但大多数动作都可以通过基本逻辑功能的组合实现，因此，熟练掌握基本梯形图程序的编制方法，是提高编程效率与程序可靠性的有效措施。以下是 PLC 常用的梯形图程序，可供编程参考。

1. “1” 和 “0” 的信号生成

PLC 程序设计时，经常需要使用状态固定为 0 或 1 的信号，以便对无须逻辑运算处理的诸如电源指示灯、实际不使用的输出等进行直接赋值。

PLC 程序中状态固定为 0 及 1 的内部继电器、输出线圈等，可通过图 2-18 所示的梯形图程序段生成。在图 2-18a 上，输出 M0.0 为信号 M0.2 和 $\overline{\text{M0.2}}$ 的“与”运算的结果，状态恒为 0；图 2-18b 中，M0.1 为信号 M0.2 和 $\overline{\text{M0.2}}$ 的“或”运算的结果，状态恒为 1。

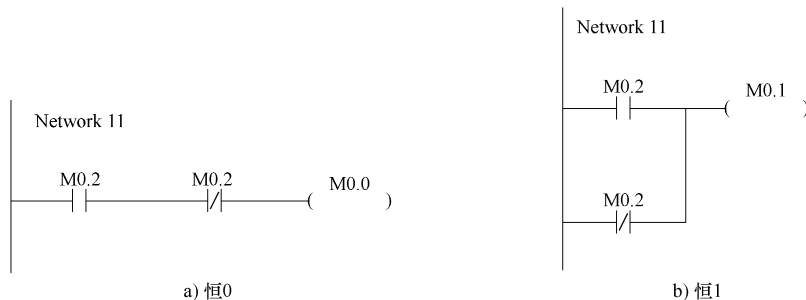


图 2-18　恒 0 和恒 1 信号的生成

2. 状态保持程序

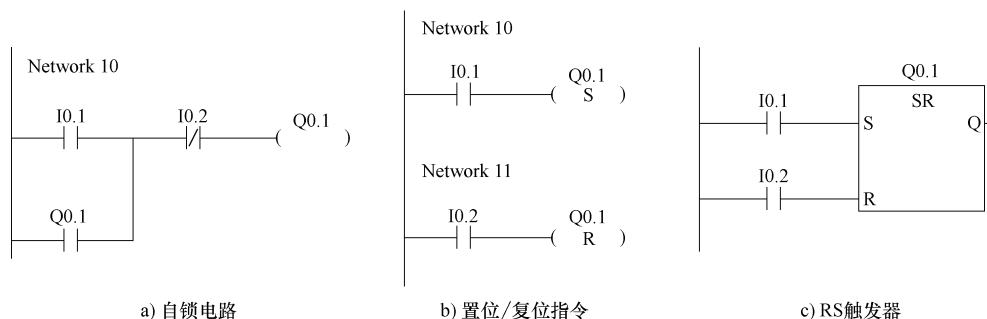
线圈的状态保持功能可通过梯形图程序的自锁电路、置位/复位指令、RS 触发器等方式实现，它有断开优先和启动优先两种控制方式，两者在启动、断开信号同时生效时，其输出状态将有所不同。

断开优先的梯形图程序如图 2-19 所示，图中的 I0.1 为启动信号、I0.2 为断开信号。

图 2-19 的程序中，如断开信号 I0.2 为 0，三种程序均可通过启动信号 I0.1 = 1，使得输出 Q0.1 = 1 并保持。但是，如果断开信号 I0.2 为 1，则不论启动信号 I0.1 = 1 或 0，Q0.1 总是输出 0，故称断开优先或复位优先。

启动优先的梯形图程序如图 2-20 所示，当断开信号 I0.2 为 0 时，三种程序也均可通过启动信号 I0.1 = 1，使得输出 Q0.1 = 1 并保持；如果 I0.2 为 1，则可使得 Q0.1 = 0。但是，如果启动信号 I0.1 = 1，则不论断开信号 I0.2 = 1 或 0，Q0.1 总是输出 1，故称启动优先或

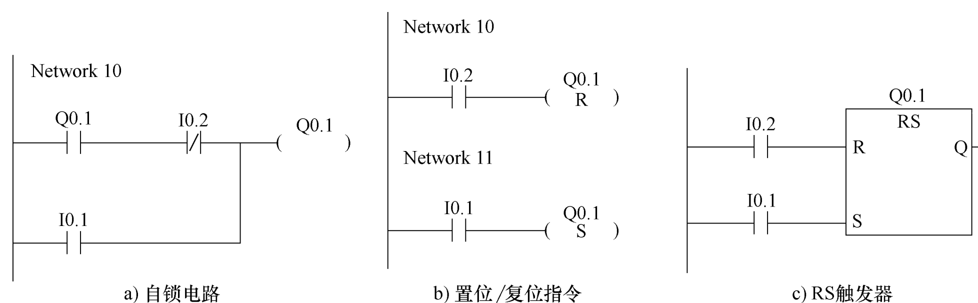




a) 自锁电路　　b) 置位/复位指令　　c) RS触发器

图 2-19　断开优先保持程序

置位优先。

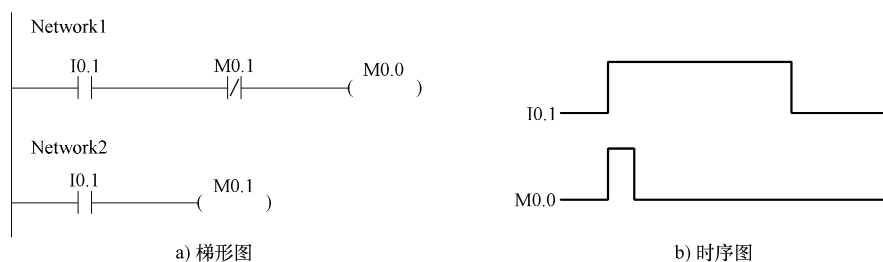


a) 自锁电路　　b) 置位/复位指令　　c) RS触发器

图 2-20　启动优先保持程序

3. 边沿信号生成

部分 PLC 没有专门的上升/下降沿检测指令，这时，可以使用图 2-21 所示的简单程序，生成上升沿检测脉冲；如果将程序中的 I0. 1 改为 $\overline{\text{I0. 1}}$，则可生成下降沿脉冲。



a) 梯形图　　b) 时序图

图 2-21　边沿信号生成程序

图 2-21a 所示的程序中，在 I0. 1 由 0 变为 1 的首次执行循环中，处理指令第 1 行时，由于 M0. 1 的状态仍为上次循环的执行结果 0，故 M0. 0 = I0. 1& $\overline{\text{M0. 1}}$的结果为 1。

当 PLC 处理到指令第 2 行时，由于本次输入采样的 I0. 1 状态为 1，M0. 1 的结果将为 1，但是，它不能改变已经处理完成的、第 1 行指令的 M0. 0 结果，故 M0. 0 在第 1 循环的输出为 1。执行完第 1 循环后，由于 M0. 1 已为 1，故在后续循环中，M0. 0 = I0. 1& $\overline{\text{M0. 1}}$将一直保持 0。因此，利用上述梯形图，可以在 I0. 1 为 1 的瞬间，在 M0. 0 上得到一个宽度为 1 个 PLC 循环时间的上升沿脉冲信号。

4. 二分频程序

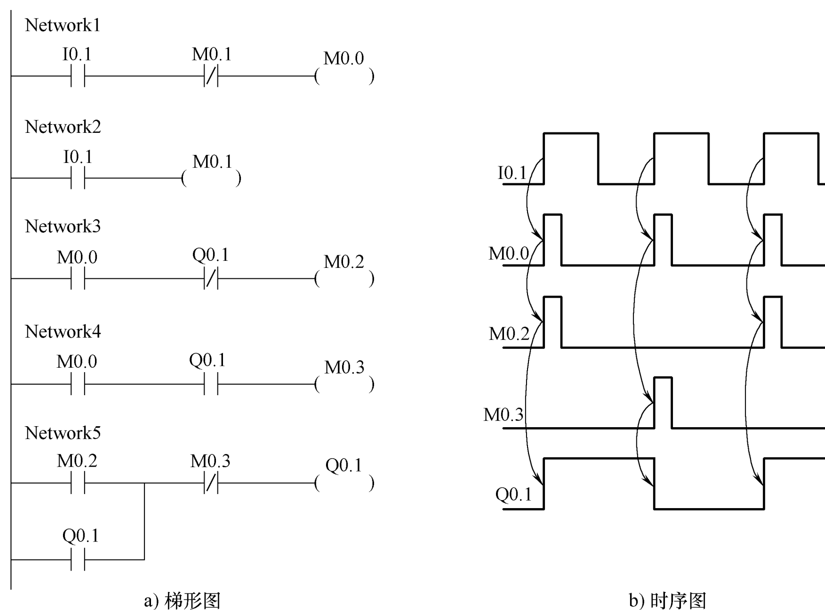
在 PLC 控制系统中，经常有利用一个按钮的反复操作，交替控制执行元件通/断的情



况，称为交替通断程序。这一程序如用于脉冲控制，其输出脉冲频率将为输入的 1/2，故又称“二分频”控制。二分频控制梯形图程序有以下多种实现形式。

图 2-22 的梯形图程序由前述的边沿信号生成（Network1、Network2）、状态保持（Network5）以及启动、停止信号生成（Network3、Network4）三部分组成。边沿信号生成、状态保持功能程序的原理与前述相同。

当每次操作按钮 I0.1 时，在 M0.0 上得到 I0.1 的上升沿脉冲。如果 Q0.1 的现行状态为 0，这一上升沿将通过 Network3，产生状态保持程序的启动信号 M0.2 = 1；如果 Q0.1 的现行状态为 1，则将产生状态保持程序的停止信号 M0.3 = 1。在状态保持程序上，如果 Q0.1 的现行状态为 0，则可通过 M0.2 = 1，将 Q0.1 的执行结果重新置为 1；如果 Q0.1 的现行状态为 1，则可通过 M0.3 = 1，将 Q0.1 的执行结果重新置为 0。由于信号 M0.0 只保持 1 个 PLC 循环，第二次执行循环时，M0.0 已经为 0，因此，Q0.1 的状态变化不会引起 M0.2、M0.3、Q0.1 状态的循环变化。



a) 梯形图　　b) 时序图

图 2-22　二分频控制程序 1

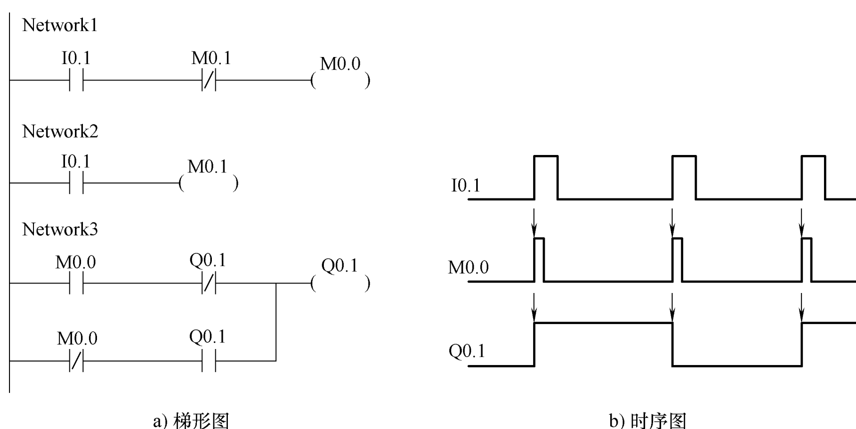
以上程序动作清晰、理解容易，但需要占用 4 个内部继电器 M0.0 ~ M0.3 和 5 个程序段，为此，实际程序中采用图 2-23 所示的形式。

图 2-23 所示的程序可通过 I0.1 的边沿信号 M0.0 和 Q0.1 当前状态（上一循环的执行结果），直接控制 Q0.1 的状态翻转。

例如，当 I0.1 出现上升沿（M0.0 = 1）时，如 Q0.1 的当前状态为 0，则 M0.0&$\overline{\text{Q0.1}}$ = 1，Q0.1 将输出 1；而在执行第 2 个循环时，虽然 M0.0 恢复为 0，但因 Q0.1 的当前状态为 1，故$\overline{\text{M0.1}}$&Q0.1 = 1，Q0.1 可保持 1。如 I0.1 出现上升沿（M0.0 = 1）时，Q0.1 的当前状态为 1，则 M0.0&$\overline{\text{Q0.1}}$及$\overline{\text{M0.1}}$&Q0.1 同时为 0，故 Q0.1 将输出“0”；而在执行第 2 个循环时，虽然 M0.0 恢复为 0，但因 Q0.1 的当前状态为 0，故 M0.0&$\overline{\text{Q0.1}}$及$\overline{\text{M0.1}}$&Q0.1 仍然为 0，Q0.1 可保持 0。

以上程序只需要使用 2 个内部继电器（M0.0/M0.1）和 3 个程序段，实现了二分频功



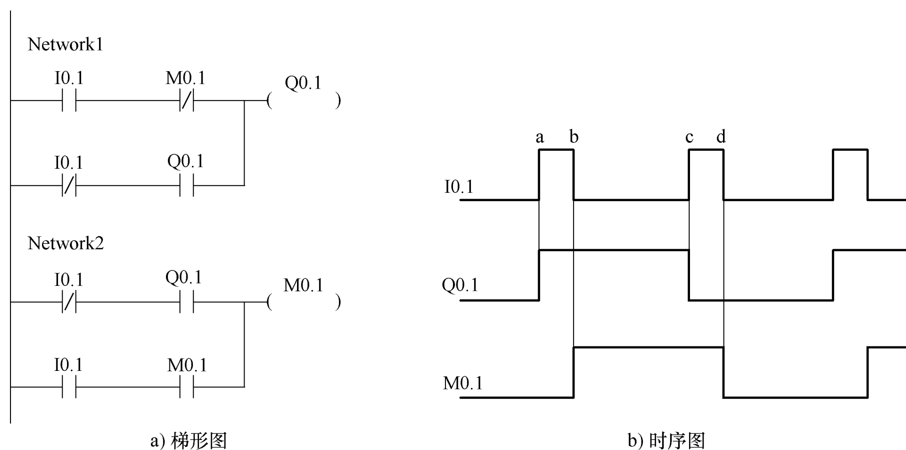


a) 梯形图　　b) 时序图

图 2-23　二分频控制程序 2

能，程序较图 2-22 简单。

最简单的二分频梯形图程序如图 2-24 所示。这一程序只占用 1 个内部继电器和 2 个程序段，程序简洁、概念清晰，并充分利用了 PLC 的执行特点，因此是工程设计人员最常用的典型程序。



a) 梯形图　　b) 时序图

图 2-24　二分频控制程序 3

假设起始状态为 Q0. 1、M0. 1 均为 0，操作按钮 I0. 1 时，程序的处理时序如图 2-24b 所示，说明如下。

1）第 1 次按下按钮时，I0. 1 =1，Q0. 1、M0. 1 的起始状态为 0，故有

$I0.1 \& \overline{M0.1} = 1$、$\overline{I0.1} \& Q0.1 = 0$

因此，$Q0.1 = I0.1 \& \overline{M0.1} + \overline{I0.1} \& Q0.1$ 的输出将为状态 1；

而$\overline{I0.1} \& Q0.1 = 0$、$I0.1 \& M0.1 = 0$，

故 $M0.1 = \overline{I0.1} \& Q0.1 + I0.1 \& M0.1$ 的输出将为状态 0。

2）第 1 次松开按钮时，I0. 1 =0，现行状态为 Q0. 1 =1、M0. 1 =0，故有

$I0.1 \& \overline{M0.1} = 0$、$\overline{I0.1} \& Q0.1 = 1$，

因此，$Q0.1 = I0.1 \& \overline{M0.1} + \overline{I0.1} \& Q0.1$ 的输出将保持为状态 1；

而$\overline{I0.1}$&Q0.1 = 1、I0.1&M0.1 = 0，

故 M0.1 = $\overline{I0.1}$&Q0.1 + I0.1&M0.1 的输出将为状态 1。

3）第 2 次按下按钮时，I0.1 = 1，现行状态为 Q0.1 = 1、M0.1 = 1，故有

I0.1& $\overline{M0.1}$ = 0、$\overline{I0.1}$&Q0.1 = 0，

因此，Q0.1 = I0.1& $\overline{M0.1}$ + $\overline{I0.1}$&Q0.1 的输出将为状态 0；

而$\overline{I0.1}$&Q0.1 = 0、I0.1&M0.1 = 1，

故 M0.1 = $\overline{I0.1}$&Q0.1 + I0.1&M0.1 的输出将为状态 1。

4）第 2 次松开按钮时，I0.1 = 0，现行状态为 Q0.1 = 0、M0.1 = 1，故有

I0.1& $\overline{M0.1}$ = 0、$\overline{I0.1}$&Q0.1 = 0，

因此，Q0.1 = I0.1& $\overline{M0.1}$ + $\overline{I0.1}$&Q0.1 的输出将保持为 0；

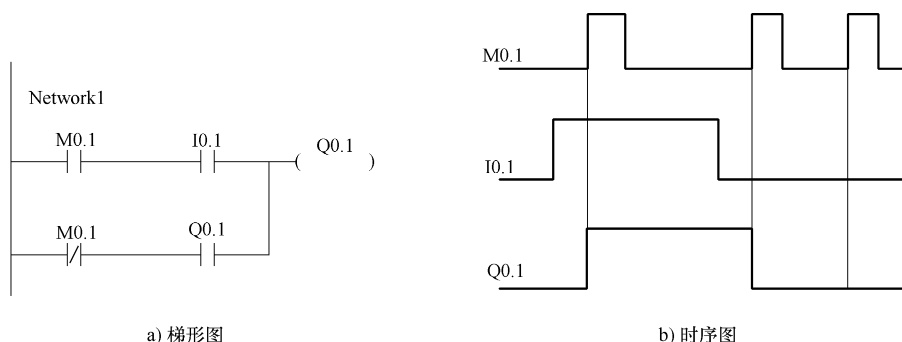
而$\overline{I0.1}$&Q0.1 = 0、I0.1&M0.1 = 0，

故 M0.1 = $\overline{I0.1}$&Q0.1 + I0.1&M0.1 的输出将为状态 0。

程序将重新回到起始状态。因此，操作按钮 I0.1，同样可在 Q0.1 上得到通断交替的输出信号。

5. 采样程序

这里所说的“采样”是指通过一个信号（采样信号），来检测另一个信号（被测信号）的状态，并将被测信号的状态保持到下次采样。实现这一要求的梯形图程序如图 2-25 所示。



a) 梯形图　　b) 时序图

图 2-25　采样程序

图示的程序中，M0.1 为采样信号，I0.1 为被测信号，Q0.1 为采样状态输出。当 M0.1 = 1 时，如 I0.1 = 1，则

M0.1&I0.1 = 1、$\overline{M0.1}$&Q0.1 = 0，

因此，Q0.1 = M0.1&I0.1 + $\overline{M0.1}$&Q0.1 的输出状态为 1；

当 M0.1 恢复 0 时，现行状态为 Q0.1 = 1，故有

M0.1&I0.1 = 0、$\overline{M0.1}$&Q0.1 = 1，

因此，Q0.1 = M0.1&I0.1 + $\overline{M0.1}$&Q0.1 的输出状态将保持为 1，故 Q0.1 上将记录并保持 M0.1 = 1 采样时的 I0.1 状态 1。

同样，当 M0.1 = 1 时，如 I0.1 = 0，则

M0.1&I0.1 = 0、$\overline{M0.1}$&Q0.1 = 0，

因此，Q0.1 = M0.1&I0.1 + $\overline{M0.1}$&Q0.1 的输出状态为 0；

当 M0.1 恢复 0 时，现行状态为 Q0.1 = 0，故有

M0. 1&I0. 1 = 0、$\overline{\text{M0. 1}}$&Q0. 1 = 0，

因此，Q0. 1 = M0. 1&I0. 1 + $\overline{\text{M0. 1}}$&Q0. 1 的输出状态将保持为 0，故 Q0. 1 上同样可记录并保持 M0. 1 = 1 时刻的 I0. 1 状态 0。

6. “异或”/“同或” 程序

“异或”/“同或” 是两种标准逻辑运算。所谓 “异或” 就是在两个信号状态不同时，输出 1 信号，其他情况则为 0；所谓 “同或” 就是在两个信号状态相同时，输出 1 信号，其他情况则为 0。由于大部分 PLC 无这一运算指令，此时，使用时可通过图 2-26 所示的梯形图程序实现这一功能。

Network 1

I0.1　I0.2　M0.0

I0.1　I0.2

a) 异或

Network 2

I0.1　I0.2　M0.1

I0.1　I0.2

b) 同或

图 2-26　“异或” 及 “同或” 程序

2.3　梯形图程序设计要点

虽然梯形图编程是从继电器触点控制电路的基础上发展起来的编程语言，但是，由于两者的工作方式不同，因此，梯形图程序设计不可以完全等同于继电器触点控制电路，说明如下。

2. 3. 1　梯形图不能实现的电路

为了便于分析、比较，在本节的内容中，继电器控制回路的触点、线圈仍采用 K□□进行表示，而梯形图中的输入、输出则采用地址 I0. □、Q0. □进行表示，两者一一对应。

例如，继电器 K1、K2 的触点，在对应梯形图上的输入为 I0. 1、I0. 2 或触点 M0. 1、M0. 2；继电器 K1、K2 的线圈，在对应梯形图上的输出为 Q0. 1、Q0. 2 或线圈 M0. 1、M0. 2 等。此外，继电器控制电路也不完全按照电气制图标准进行绘制。

1. 桥接支路

继电器触点控制电路可采用图 2-27a 所示的 “桥接” 支路，通过 K5 触点的桥接，使得触点 K3、K1 可交叉控制线圈 K6、K7，这样的支路在 PLC 梯形图中不能实现。这是因为：

1）梯形图的编程格式不允许。采用梯形图编程时，程序中的触点一般不能进行垂直方向布置。

2）违背 PLC 程序的执行规则，在同一 PLC 执行循环内，它不能利用后续线圈的控制条件，来改变已执行完成的输出状态。

因此，设计梯形图程序时，需要保证每一输出线圈都有独立的逻辑控制电路，为此，编程时需要将其转化为图 2-27b 所示的形式。



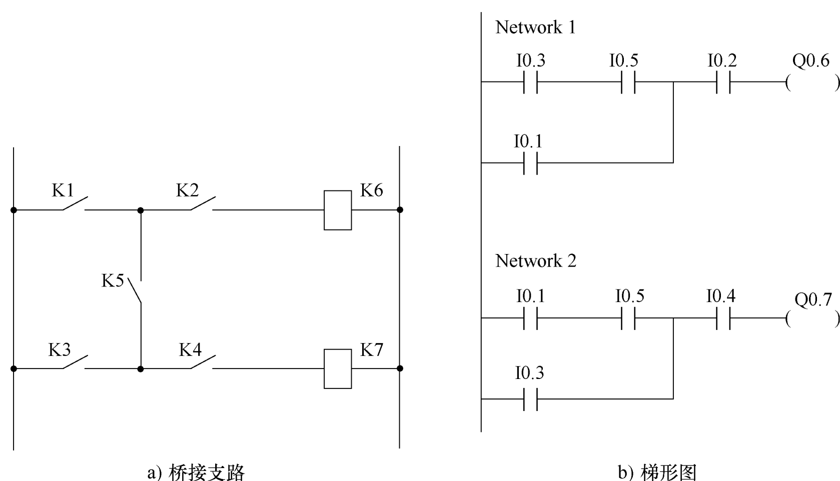


图 2-27　桥接支路的编程

2. 后置触点

继电器触点控制电路可使用图 2-28a 所示的后置触点，通过 K5 来进行 K6、K7 的共同控制。但是，梯形图编程时，规定线圈必须是程序段的最终输出，因此，这样的电路在梯形图上需要更改为图 2-28b 所示的形式。

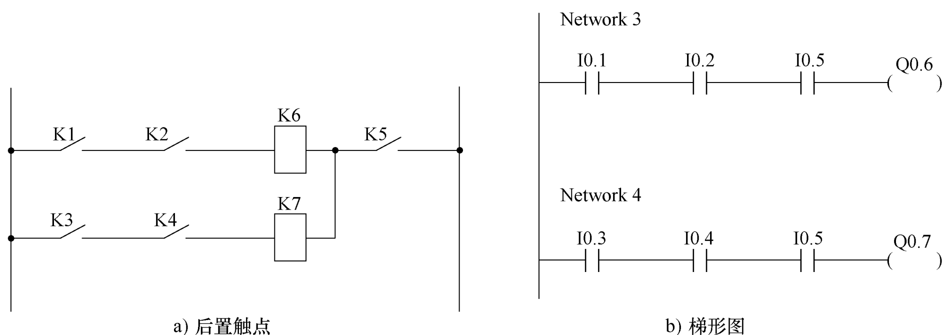


图 2-28　后置触点的编程

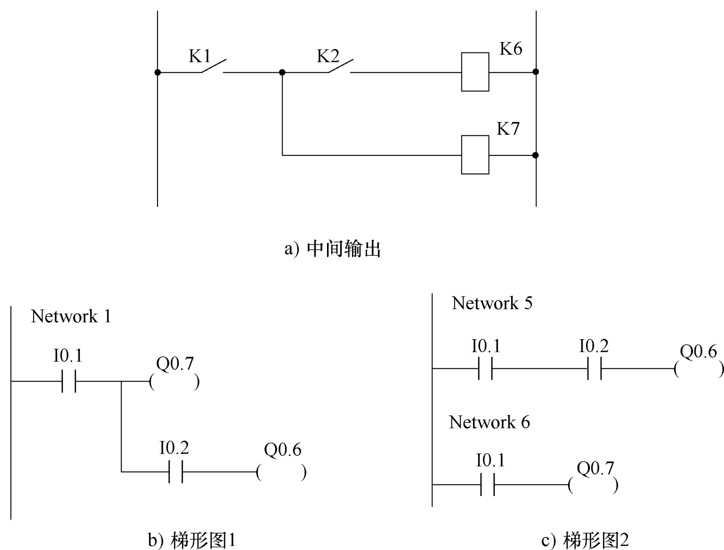
3. 中间输出

图 2-29a 为继电器控制电路常用的中间输出连接电路，在梯形图程序中，虽然也可采用这样的编程，但程序处理时需要通过堆栈操作才能实现，它将无谓地增加程序所占的存储器容量，并给程序的阅读带来不便。因此，实际编程时一般需要将程序转换为图 2-29b或图 2-29c 所示的形式，通过改变前后次序，或者通过输出线圈的独立编程，简化程序执行过程。

4. 并联输出

图 2-30a 是继电器触点控制电路常用的并联输出支路，鉴于中间输出同样的原因，实际编程时宜更改为图 2-30b 所示的形式。

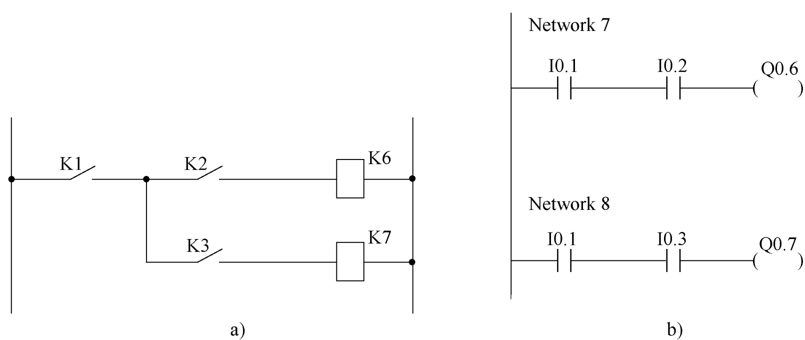




a) 中间输出

b) 梯形图1　　c) 梯形图2

图 2-29　中间输出的编程



a)　　b)

图 2-30　并联输出的编程

2. 3. 2　继电器不能实现的程序

1. 边沿生成

由于 PLC 的梯形图程序处理，严格按照从上至下、从左向右的次序，依次执行，因此，可以通过图 2-31a 所示的梯形图，在 M0. 0 上得到宽度为 1 个 PLC 循环周期的 I0. 1 上升沿脉冲信号，有关内容可参见 2. 2 节所述。

但是，在图 2-31b 所示的继电器触点控制电路上，由于常闭触点的断开一般先于常开触点闭合，因此，继电器 K3 一般不被接通，类似的电路无意义。

2. 时序控制

继电器触点控制电路的工作是同步的，即当继电器线圈通电时，无论触点位于电路的哪一位置，它们都将被同时接通或同时断开，因此，即便电路前后次序不同，所得到的效果是一致的。例如，对于图 2-32a 和图 2-32b 所示的电路，当触点 K1 接通时，所得到的结果总

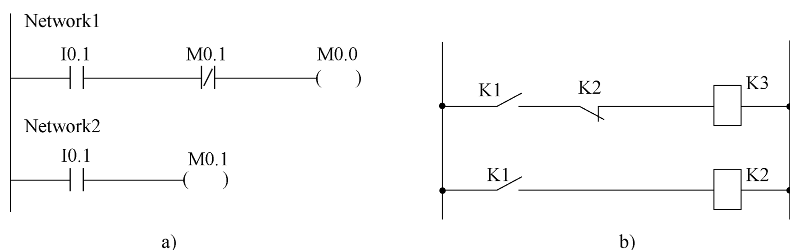


图 2-31　边沿生成程序

是为线圈 K2 接通、K3 断开。

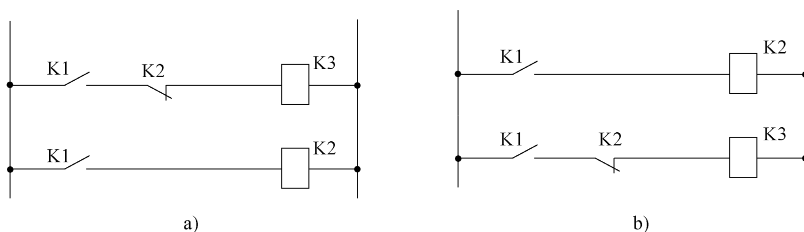


图 2-32　效果相同的电路

但是，PLC 对梯形图的处理严格按照从上至下、从左向右的次序进行；在同一 PLC 执行循环内，它不能利用后续线圈的控制条件，来改变已执行完成的输出状态。因此，对于图 2-33 所示的梯形图，图 2-33a 在 I0. 1 = 1 的第 1 个 PLC 执行循环里，由于 M0. 1 为 0，故可在 M0. 0 上得到 I0. 1 的上升沿脉冲；而在图 2-33b 上，当 I0. 1 = 1 后，首先将使得 M0. 1 = 1，故 M0. 0 将始终为 0。两者的执行结果完全不同。

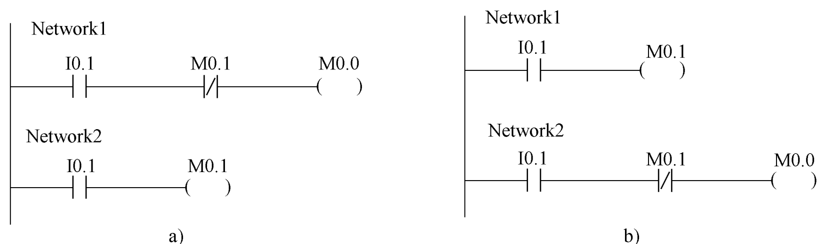


图 2-33　效果不同的梯形图

3. 线路竞争

继电器触点控制电路的同步工作特性，在线路设计时很容易导致竞争，图 2-34a 就是导致竞争的电路。

在图 2-34a 所示的继电器触点控制电路上，当触点 K10 接通时的动作过程为：K2 接通→K1 接通→K2 断开→K3 接通→K1 断开→K3 断开→K2 接通……从而使继电器 K1、K2、K3 处于不断通断之中，产生竞争。

而图 2-34b 所示的梯形图程序，则为二分频标准控制电路（参见 2. 2 节图 2-22），当 M0. 0 为上升沿脉冲时，可用于 Q0. 1 的交替通断控制，其程序原理可参见前述。



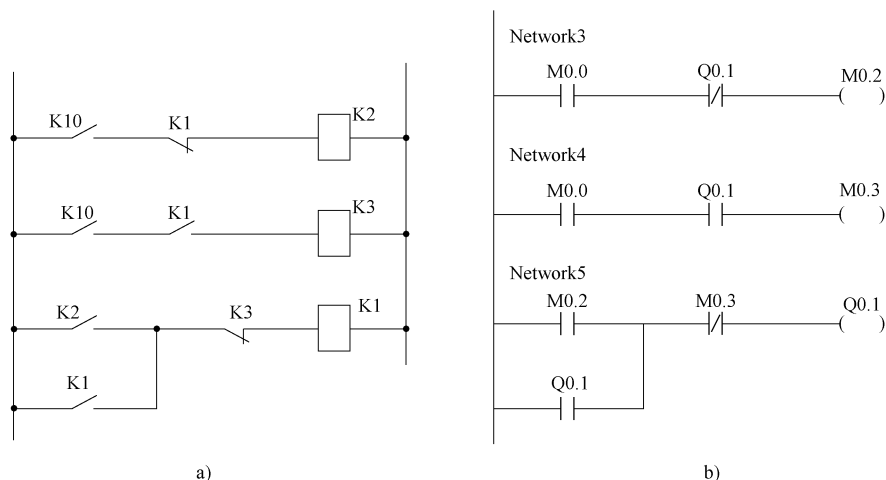


图 2-34　竞争电路的梯形图

4. 重复线圈

继电器的线圈绝不允许重复接线，但在 PLC 梯形图程序上，绝大多数情况下，都可以使用图 2-35 所示的重复线圈编程。使用重复线圈编程时，PLC 可通过自检发出错误信息，但这只是对编程者的提醒，并不影响程序的运行。

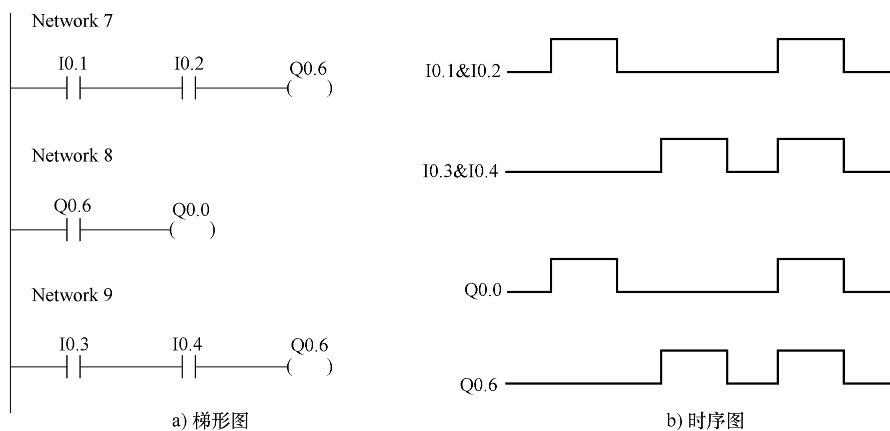


图 2-35　重复线圈编程

由于 PLC 输出刷新的状态，总是本循环用户程序执行完成后的最终处理结果，在程序处理过程中其状态可以不同，因此，可利用重复线圈来记忆程序的中间运算结果，从而减少内部继电器的数量。

例如，对于图 2-35 所示的程序，当 I0. 1 和 I0. 2 同时为 1、但 I0. 3 和 I0. 4 中任意一个为 0 时，执行 Network 7 后，Q0. 6 的状态将为 1；执行 Network 8 后，Q0. 0 的状态将为 1；执行 Network 9 后，Q0. 6 的状态又将变为 0。但是，由于 Network 9 的执行结果不能改变本循环内的 Network 7、Network 8 执行结果，因此，进行输出刷新时，PLC 的最终输出结果为 Q0. 0 = 1、Q0. 6 = 0。

基于同样的原因，当 I0.1 和 I0.2 中任意一个为 0、但 I0.3 和 I0.4 同时为 1 时，PLC 的最终输出结果为 Q0.0 = 0、Q0.6 = 1；而在 I0.1、I0.2、I0.3、I0.4 全部为 1 时，PLC 的最终输出结果将为 Q0.0 = 1、Q0.6 = 1。

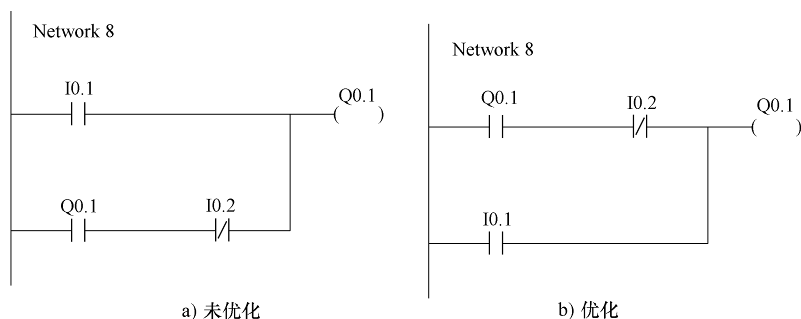
2.3.3 梯形图程序的优化

梯形图程序中的不同逻辑处理指令，所需要的存储容量、执行时间是不相同的，因此，在不影响程序执行结果的前提下，有时只需要调整指令的先后次序，便可简化程序、缩短程序执行时间、优化程序。常用的 PLC 梯形图程序优化方法如下。

1. 并联支路的优化

当输出由若干并联支路进行控制时，应根据“先与后或”的逻辑运算规则，将带有串联触点的并联支路放在只有独立触点的并联支路上方，这样，处理指令时就可以避免堆栈操作，减少指令所占的步数和执行时间。

例如，对于图 2-36a 所示的程序，PLC 处理程序时，首先需要读入 I0.1 的状态，并将其压入堆栈中；接着读入 Q0.1 的状态，进行 Q0.1& $\overline{\mathrm{I0.2}}$的运算；然后再取出堆栈状态，进行 I0.1 和 Q0.1& $\overline{\mathrm{I0.2}}$的逻辑“或”运算，并将结果输出到 Q0.1 上。



a) 未优化　　b) 优化

图 2-36　并联支路的优化

当程序按照图 2-36b 所示优化后，PLC 处理程序时，首先读入 Q0.1 的状态，接着直接进行 Q0.1& $\overline{\mathrm{I0.2}}$的运算；然后，直接以现行运算结果和 I0.1 进行逻辑“或”运算，并将结果输出到 Q0.1 上。显然，优化后的程序执行更简单，指令所占的步数和执行时间更短。

2. 串联支路的优化

当输出由若干支路串联进行控制时，应根据 PLC“从左向右”处理规则，将带有并联触点的支路放在最前面，它同样可以避免堆栈操作，减少指令所占的步数和执行时间。

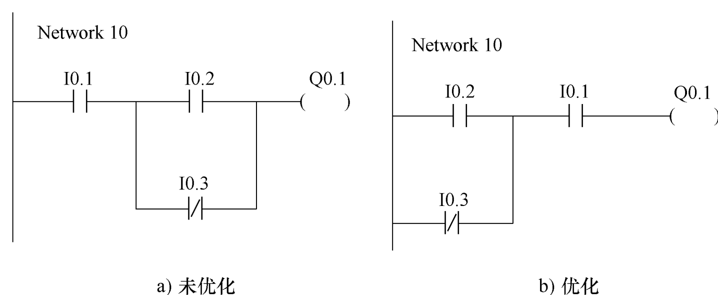
例如，对于图 2-37a 所示的程序，PLC 处理程序时，首先需要读入 I0.1 的状态，并将其压入堆栈中；接着读入 I0.2 的状态，进行 I0.2 和$\overline{\mathrm{I0.3}}$的逻辑“或”运算；然后再取出堆栈状态，进行 I0.1&（I0.2 + $\overline{\mathrm{I0.3}}$）的逻辑“与”运算，并将结果输出到 Q0.1 上。

当程序按照图 2-37b 所示优化后，PLC 处理程序时，首先读入 I0.2 的状态，接着直接进行 I0.2 和$\overline{\mathrm{I0.3}}$的逻辑“或”运算；然后，直接以现行运算结果和 I0.1 进行逻辑“与”运算，并将结果输出到 Q0.1 上。优化后的程序更简单，指令所占的步数和执行时间更短。

3. 内部继电器的使用

梯形图程序设计时，有时需要多次使用某些逻辑运算的结果，此时，应尽量使用内部继

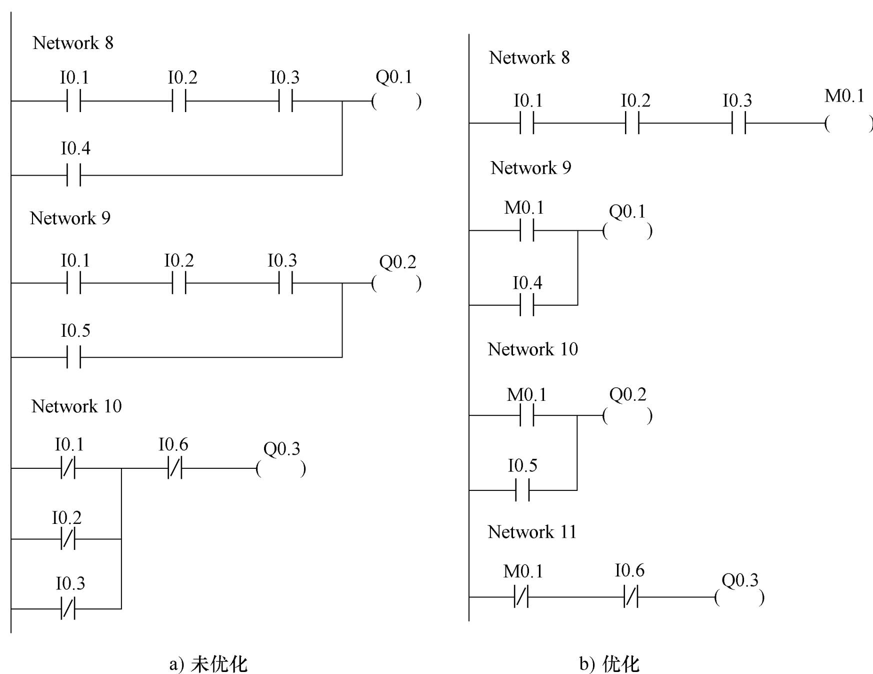




a) 未优化　　b) 优化

图 2-37　串联支路的优化

电器，这样不仅可简化程序，而且可以方便程序修改。例如，图 2-38a 所示的程序可以按照图 2-38b 进行优化。



a) 未优化　　b) 优化

图 2-38　利用内部继电器的优化

在图 2-38a 所示的程序上，Q0. 1、Q0. 2 具有共同的控制条件 I0. 1&I0. 2&I0. 3，Q0. 3 的控制条件为$\overline{\text{I0. 1\&I0. 2\&I0. 3}}$，程序长度 15 步。如果将控制条件 I0. 1&I0. 2&I0. 3 作为内部继电器，则可得到图 2-38b 所示的程序，程序长度将减少至 13 步。

图 2-38b 所示程序的另一优点是修改方便。例如，当输入 I0. 1 需要更改为 M10 时，对于图 2-38a 所示的程序，必须同时将 Network8、Network9、Network10 中的 I0. 1 改为 M10；而在图 2-38b 所示的程序上，则只需将 Network8 中的 I0. 1 改为 M10，程序修改简单，且可避免遗漏。



4. 中间输出的优化

如果梯形图允许进行共用控制条件的多个输出线圈的编程时，同样也需要按照逻辑运算规则，保证逻辑处理动作的依次进行，以避免堆栈操作，减少指令所占的步数和执行时间。

例如，对于图 2-39a 所示的程序，按照梯形图“从上至下”的处理规则，首先需要读入 I0.1 的状态，并将其压入堆栈中；接着进行 I0.1 和 I0.2 的逻辑“与”运算，将结果输出到 Q0.6 上；然后再取出堆栈中的 I0.1 的状态，将其输出到 Q0.7 上。

当程序优化为图 2-39b 所示后，按照梯形图“从上至下”的处理规则，读入 I0.1 的状态后，就可将结果输出到 Q0.7 上；接着，以现行结果和 I0.2 进行逻辑“与”运算，然后输出到 Q0.6 上。其处理简单、指令步数和执行时间短。

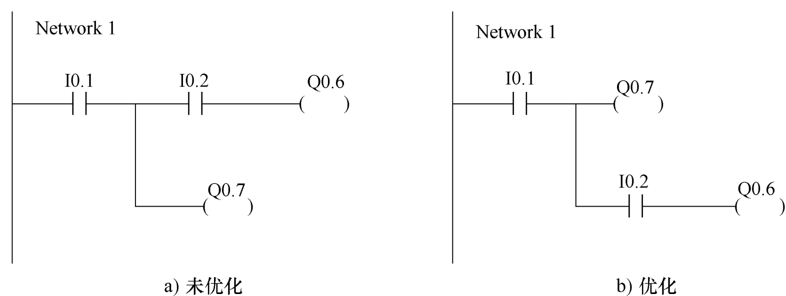


图 2-39　输出位置的优化

第 3 章

FANUC-PMC 编程

3.1 FANUC 系统简介

3.1.1 发展概况

FANUC 公司是全球最大、最著名的 CNC 生产厂家，其产品以可靠性高著称，技术水平居世界领先地位，产品占全球 CNC 市场的 30% 以上。

FANUC 公司的主要产品生产与开发情况大致如下。

1956 年：开发了日本第 1 台电子管控制、电液脉冲马达驱动的点位控制的 NC。

1959 年：开发了日本第 1 台电子管控制、电液脉冲马达驱动的连续控制的 NC。

1960 年：开发了日本第 1 台步进电动机直接驱动的 NC。

1966 年：开发了采用集成电路的 NC。

1968 年：全世界首台计算机群控数控系统（DNC）开发成功。

通过以上研究与产品开发，1974 年 FANUC 公司的 NC 市场占有率已位居世界第一；但是，当时该公司在开发低噪声、大扭矩电液脉冲马达时遇到困难，使得公司决定从美国 GETTYS 公司引进直流伺服电动机的制造技术，并开始进行商品化与产业化。FANUC 公司这一决策直接推动了数控技术的全面进步，在数控系统上从此开始了电气驱动代替了液压驱动，闭环控制代替了开环控制的历程。

1975 年：与 SIEMENS 公司签订了 10 年的产品合作协议。

1976～1977 年：开发了第一代闭环控制的 CNC 产品 FANUC 7 系统、功能精简型的 FANUC 5 系统，及 FANUC 直流伺服与主轴驱动系列产品，FANUC 7 系统可实现 4 轴控制/3 轴联动，功能较丰富，已可满足当时绝大部分数控机床的控制要求。

1979 年：开发了第二代闭环控制 CNC 产品 FANUC 6 系统，该系统可实现 5 轴控制/4 轴联动，其功能已与目前一般使用的 CNC 无太大差别；FANUC 公司也逐步开始在 NC 技术上引领世界潮流。

1980～1982 年：开发了第二代闭环功能精简型数控系统系列产品 FANUC 3 系统，及 FANUC 交流伺服与主轴驱动系列产品；CNC 的性能价格比大大提高，驱动系统开始了交流伺服驱动全面代替直流伺服驱动的革命。

1984 年：开发了第三代闭环数控系统系列产品 FANUC 10/11/12 系统，该系列产品率先采用了光缆通信等新技术，CNC 可以实现 5 轴控制/5 轴联动，功能十分丰富，并成为了 FANUC

在此后多年产品开发的基础，即使在今天，10/11/12 系列 CNC 的功能仍然不显落后。

1985 年：开发了第三代闭环功能精简型数控系统系列产品 FANUC 0 系统，FANUC 0 是 FANUC 历史上开发最为成功的系统之一，CNC 不仅可靠性大幅度提高，而且在性能价格比上领先于同类产品。

1986 年：开发了使用 MMC（Man Machine Communication，人机通信）的 FANUC 00/100/110/120 系列 CNC 及数字伺服驱动系列产品，数字伺服技术开始在数控系统上得到全面应用。

1987 年：开发了 FANUC 15 系列 CNC，该系列 CNC 在最大配置的情况下，可实现 24 轴控制/24 轴联动，CNC 的技术水平在当时达到了前所未有的高度。随后几年（1987～1994 年）所开发的产品主要是进行 FANUC 15 系列 CNC 的功能精简与提高性能价格比，并相继开发了 FANUC 16 系列 CNC（18 轴控制/6 轴联动）、FANUC 18 系列 CNC（10 轴控制/4 轴联动）、FANUC 20 系列 CNC（8 轴控制/4 轴联动）、FANUC 21 系列 CNC（6 轴控制/4 轴联动）、FANUC 22 系列 CNC（4 轴控制/4 轴联动）等。

1995～1998 年：开始在 CNC 中应用 IT 的网络与总线等技术，开发了 i 系列 CNC 产品，如 FANUC 15i/150i-MODEL A、FANUC 16i/18i/21i-MODEL A、FANUC 160i/180i/210i-MODEL A、FANUC 15i/150i-MODEL B 等。

2000 年：开发了 FANUC 0i-MODEL A（4 轴控制/4 轴联动）、FANUC 16i/18i/21i-MODEL B（控制轴/联动轴数分别为 8/6、8/5、5/4）、FANUC -160is/180is/210is-MODELB，以及 FANUC-αi 系列、β 系列数字伺服等驱动产品。

2002 年：开发了可用于 5 轴联动加工的 FANUC 16i/18i/21i-MB5 及功能精简型的 FANUC 0i-MODEL B、FANUC 0iMate A（3 轴控制/3 轴联动）系列 CNC，及 βi 系列数字伺服驱动。

2003～2005 年：开发了 FANUC 30i/31i/32i-MODEL A 全新系列 CNC 产品，其中，FANUC 30i-MODEL A5 可用于 5 轴联动加工；同时开发了功能精简型的 FANUC 0i/0i-Mate -MODEL C 系列 CNC、αis 系列数字伺服驱动。

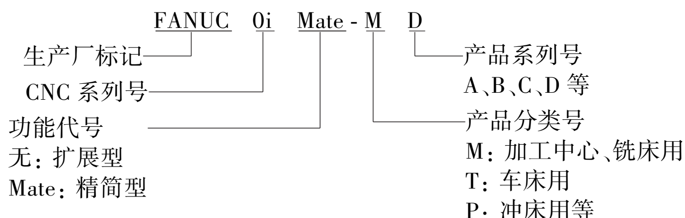
2005～2007 年：相继开发了 5 轴联动加工用的 FANUC 31i/32i -MODEL A5，以及使用 MMC（人机通信）的 FANUC 300i /310i/320i-MODEL A、FANUC 300is /310is/320is-MODEL A、FANUC 31i /310i/310is-MODEL A5 系列 CNC。

2008～2011 年：相继开发了 5 轴联动加工用的 FANUC 31i-MODEL B5、FANUC 30i /32i-MODEL B、FANUC 35i-MODEL -B 系列 CNC，以及 FANUC 0i/0iMate MODEL D 系列 CNC。

3.1.2 当前产品

1. FANUC 0iD 系列

FANUC 公司的 CNC 型号的一般表示方法如下：





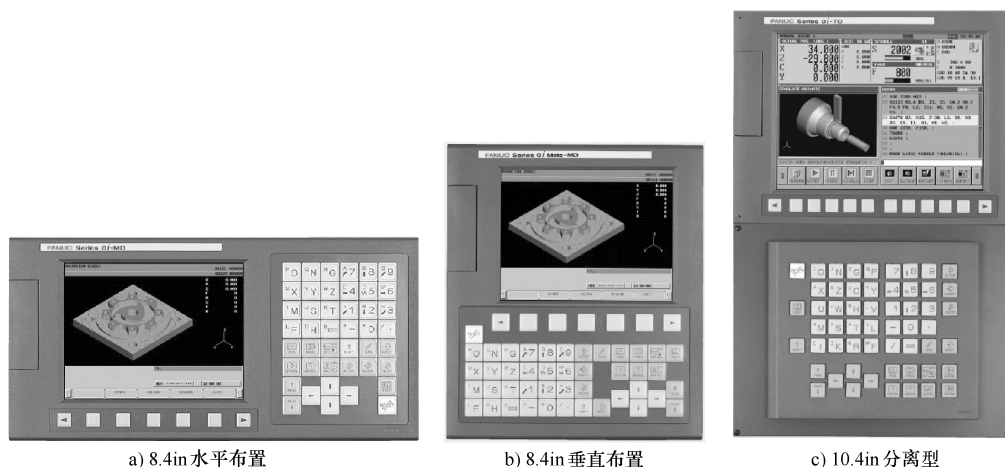
FANUC 0i 系列 CNC 是 FANUC 公司为5轴以下、大批量生产的数控机床所开发的实用型系统，产品在国内外普通型数控机床上得到了极为广泛的应用。根据产品开发时间与结构，共有 FANUC 0i-MODEL A（简称 FS-0iA）、FANUC 0i-MODEL B（简称 FS-0iB）、FANUC 0i-MODEL C（简称 FS-0iC）及最新的 FANUC 0i-MODEL D（简称 FS-0iD）四大系列。

根据 CNC 的功能，系列产品有“可扩展型”与“精简型”两种规格，后者在型号中加“Mate”，如 FS-0i Mate MC、FS-0i Mate TD 等。

FS-0iA、FS-0iB、FS-0iC、FS-0iD 的硬件、软件、结构有较大区别，性能依次提高，但其操作、编程方法类似。在产品结构上，FS-0iA/B 采用了 MDI/LCD 和 CNC 分离型结构，两者独立安装；FS-0iC/D 采用的是 MDI/LCD/CNC 集成结构，其结构紧凑、安装方便。在网络技术应用上，FS-0iA 仅 I/O 单元采用 I/O-Link 总线链接，CNC 与伺服驱动器仍使用电缆连接；FS-0iB/C/D 采用了 FANUC 高速串行伺服总线（FSSB），实现 CNC 和伺服驱动器的总线链接。在配套的驱动器上，FS-0iA 只能采用电缆连接的 α 系列驱动器；FS-0iB/C/D 可采用 FSSB 链接的 αi/βi 系列驱动器。

精简型 FS-0iMate 与可扩展型 FS-0i 的区别主要体现在硬件扩展和功能上，FS-0i Mate 的主板无安装扩展模块的接口，故不能增加通信接口、数据服务卡、附加轴控制、附加主轴控制等扩展模块，也不能选择 10.4in[⊖] LCD 等部件。例如，FS-0iMate MD 的最大控制轴数为4轴，而 FS-0iMD 可选择第5轴控制功能等。在 PMC 功能上，FS-0iMate 的内置式 PMC 不可扩展，其 I/O 点数较少、PMC 程序容量较小，例如，FS-0iMate D 的 PMC 最大 I/O 点为 256/256 点、程序容量 8000 步、基本指令执行时间为 1μs，而 FS-0iD 的 PMC 最大 I/O 点可达 2048/2048 点、程序容量为 32000 步、基本指令执行时间为 0.025μs 等。此外，FS-0iMate 也不能选择多通道控制、同步轴控制、倾斜轴控制等特殊功能。

FS-0iD、FS-0iMate D 系列数控系统（以下统称 FS-0iD）的外形如图 3-1 所示，标准规格为 MDI/LCD/CNC 集成结构，并有水平布置和垂直布置 8.4in LCD 两种基本规格；也可根据需要选择图 3-1c 所示的 10.4in LCD/CNC 单元和分离型 MDI 面板的组合。



a) 8.4in 水平布置　b) 8.4in 垂直布置　c) 10.4in 分离型

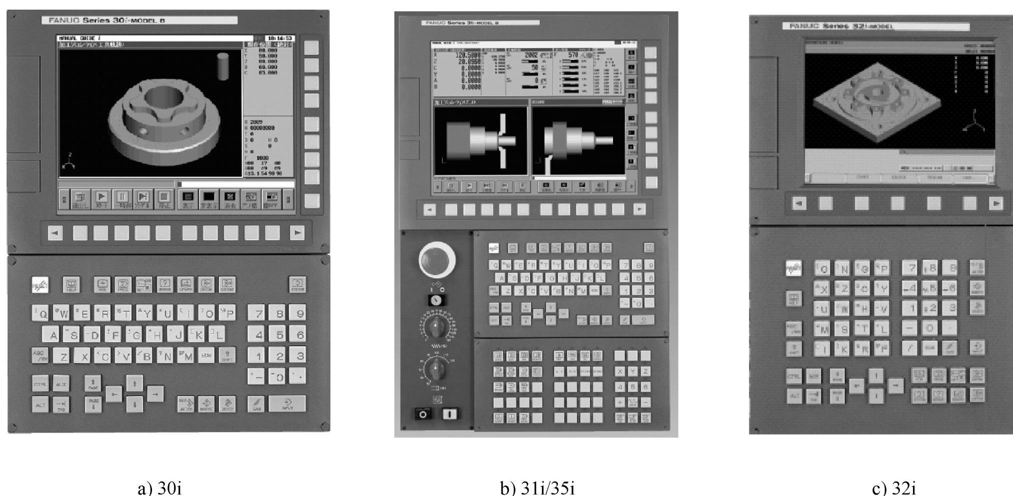
图 3-1　FS-0i 系列 CNC

⊖ 1in = 25.4mm，后同。

FS-0iD 是 FANUC 公司最新开发、目前国际国内市场用量最大、可靠性最高的数控系统，是 FANUC 当前的主要产品，它可以满足绝大多数 5 轴以下数控机床的控制要求，产品销售最大，在国内外市场使用最广泛，本书将对其进行全面的介绍。

2. FANUC 30i 系列

图 3-2 所示的 FANUC 30i 系列 CNC 是为了适应世界机床行业技术发展，而开发的高速、高精度、5 轴加工用数控系统，其产品性能居当今世界领先水平。



a) 30i　　b) 31i/35i　　c) 32i

图 3-2　FS-30i 系列 CNC

FANUC 30i 系列 CNC 分 30i、31i、32i、35i 四大系列，以 FS-30i 的功能为最强，其控制轴数/联动轴数可达 40 轴（32 进给 +8 主轴）/24 轴，10 通道（亦称 10 路径）控制；以下依次为 FS-31i、FS-35i、FS-32i。FS-31i 的控制轴数/联动轴数为 26 轴（20 进给 +6 主轴）/4 轴，4 通道控制，可用于 5 轴联动加工（FS-31iB5）；FS-35i 的控制轴数/联动轴数为 20 轴（16 进给 +4 主轴）/4 轴，4 通道控制；FS-32i 控制轴数/联动轴数为 16 轴（10 进给 +6 主轴）/4 轴，2 通道控制。

FANUC 30i 系列 CNC 采用了最先进的超高速处理器、高速串行伺服总线技术（FANUC Serial Servo Bus，FSSB）、64 位 RISC（精简指令系统）等，大大提高了 NC 的处理速度；IC 元件的立体化安装有效地提高了可靠性、缩小了体积。CNC 的最小输入单位、最小输出单位、插补单位为 1nm，伺服电动机内置有 2^{24}P/r（每转 16777216 脉冲）的 αi 系列高分辨率编码器，可用于高速、高精度控制。PMC 最大可链接 2048/2048 点 I/O，程序最大容量可达 300 000 程序步。

FANUC 30i 系列 CNC 可配套 15in TFT 大液晶显示器和水平/垂直双菜单操作，可进行多通道同时显示、3 维驱动特性显示和调整。CNC 还可选配 FANUC PANEL i 人机操作界面，使用 Windows OS、Windows CE 操作系统，进行数据、文件、资料的管理；也可选择 C 语言编程功能，制作用户个性化画面。

FANUC 30i 系列 CNC 可选配 5 轴联动加工、工件坐标系设定误差补偿、工/刀具端点自动控制、坐标系空间旋转倾斜面加工等用于当代高速、高精度、复合加工的先进功能。

3.1.3 FS-0iD 主要功能

FS-0iD 是目前国际国内市场用量最大、可靠性最高的数控系统，也是 FANUC 当前的主要产品。由于机床控制要求、CNC 性能和价格的不同，FS-0iD 系列产品中的 FS-0iMD、FS-0iTD、FS-0iMate MD、FS-0iMate TD 的功能有较大区别。为了便于用户使用，FANUC 公司对 FS-0iMD、FS-0iTD 常用的软件功能进行了“打包”处理，用户可以根据需要选择“软件包 1”或“软件包 2”，在此基础上可再根据实际需要，适当增加相关的选择功能。但普及型的 FS-0iMate MD、FS-0iMate TD 无相关软件包。

表 3-1 为 FANUC 公司所提供的软件功能一览表，表中的 FS-0iPD 是用于冲压类机床控制的数控系统，在此一并列出，以供参考。表中符号的基本含义如下。

●：CNC 基本功能，不需要订购。

★：CNC 选择功能，需要特殊订购。

※：包含在基本功能或其他选择功能中，一般不需要专门选择。

—：该规格的 CNC，不可选择的功能。

○1：软件包 1 的标准功能，选择“软件包 1”后可使用。

○2：软件包 2 的标准功能，选择“软件包 2”后可使用。

★1：软件包 1 的选择功能，在选择“软件包 1”后，可根据用户要求增加。

★2：软件包 2 的选择功能，在选择“软件包 2”后，可根据用户要求增加。

表 3-1 FS-0iD 功能总表

软件与功能			FS-0i			FS-0i Mate	
			MD	TD	PD	MD	TD
最大控制轴数	2 通道	合计最大进给轴数	—	8	—	—	—
		1 个通道最大进给轴数	—	7	—	—	—
		1 个通道最大联动轴数		4			
		2 通道合计最大主轴数	—	4	—	—	—
		1 个通道最大主轴数	—	3	—	—	—
	单通道	最大进给轴数(含主轴)	7	7	7	5	5
		最大主轴数	2	3	—	1	2
通道控制	单通道控制		●	●	●	●	●
	双通道控制		—	★1	—	—	—
轴控制	同时控制 4 轴(4 轴联动)		●	●	●	★	★
	同时控制 3 轴(3 轴联动)		※	※	●	●	●
	PMC 轴控制(无 Cs 轴控制)		●	●	●	★	★
	Cs 轴控制		●	●	—	—	●
	坐标轴脱开、伺服关闭、位置跟随		●	●	●	●	●
	位置开关(电子凸轮功能)		★	★	★	—	—
	回退		★	—	—	—	—
	手轮回退		★	★	—	—	—
	2 通道控制和干涉检测		—	★	—	—	—
	通道同步/混合/重叠控制		—	★	—	—	—
	进给轴同步		●	●	●	★	★
	串联控制		●	●	●	—	—
	串联减振控制		★	★	★	—	—
	转矩控制		●	●	●	—	—

（续）

软件与功能		FS-0i			FS-0i Mate	
		MD	TD	PD	MD	TD
轴控制	倾斜轴控制	★	★	—	—	—
	轴互锁、机床锁住、急停、超程保护	●	●	●	●	●
	存储行程检测 1、2、3，运动前检测	●	●	●	●	●
	软件限位外部设定	●	—	●	●	—
	卡盘、尾架保护	—	●	—	●	—
	异常负载检测（刀具过载保护）	●	●	●	●	●
	I/O-Link 驱动器异常负载检测	★	★	★	—	—
	误操作防止	●	●	●	●	●
	转子位置检测	★	★	★	—	—
	0.0001mm/0.00001in/0.0001°输入	●	●	—	●	●
	柔性齿轮比设定	●	●	●	●	●
	HRV2/HRV3 控制	●	●	●	●	●
	米/英制转换	●	●	●	●	●
	倒角 ON/OFF	—	●	—	●	—
	临时绝对坐标系设定	★	★	—	—	—
	冗余检测（需要 PMC 的 I/O-Link 扩展 3 或 PROFIBUS-DP）	★1	★1	★	—	—
	MDI/DNC/MEM 程序运行	●	●	●	●	●
	程序/程序段检索和比较停止	●	●	●	●	●
	程序重新启动	●	●	—	●	●
	手轮中断	●	●	—	●	●
	刚性攻螺纹回退	●	★	—	●	★
	3 维刚性攻螺纹回退	★	★	—	—	—
	空运行、单段、跳段、跳步切削	●	●	●	●	●
	JOG、回参考点、手轮操作及设定	●	●	●	●	●
	3 手轮操作	●	★	●	●	—
	3 维手轮进给	★	—	—	—	—
	αi 系列伺服控制	●	●	●	—	—
	βi 系列伺服控制	●	●	●	●	●
	位置全闭环控制	★	★	★	★	★
	绝对地址编码光栅接口及扩展	★	★	★	—	—
	双位置反馈	★	★	★	—	
	模拟伺服适配器	●	●	●	—	—
	SERVO GUIDE 伺服调试软件	★	★	★	★	★
插补功能	纳米插补	●	●	●	●	●
	单向定位（G60）	●	—	—	●	—
	攻螺纹进给（G63）	●	●	—	●	●
	螺纹切削加工	●	●	—	●	●
	多头螺纹切削加工	—	●	—	—	●
	变导程螺纹切削加工	—	●	—	—	●
	螺旋线插补	●	★	●	●	—
	圆柱面插补	●	●	—	★	●
	极坐标插补	—	●	—	—	●
	多边形车削	—	●	—	—	—
	法线方向控制	●	—	●	—	—
	分度台分度	●	—	—	—	—



（续）

软件与功能		FS-0i			FS-0i Mate	
		MD	TD	PD	MD	TD
进给功能	F1 位数进给	●	—	—	●	—
	时间恒定控制（反比时间进给）	●	—	—	—	—
	主轴每转进给	●	●	—	●	●
	手动每转进给	—	●	—	—	●
	线速度恒定控制与最大速度限制	●	●	—	●	●
	自动加减速、S 型加减速	●	●	●	●	●
	拐角自动减速	●	—	●	●	—
	圆弧插补速度限制	●	—	●	●	—
	AI 控制	●	—	—	●	—
	AI 轮廓控制Ⅰ	★	★	—	★	★
	AI 轮廓控制Ⅱ	★1	★1	—	—	—
	插补前 S 型加减速	★	★	—	★	★
	刚性攻螺纹 S 型加减速	★	—	—	—	—
	刚性攻螺纹自适应加减速	★	★	—	—	—
	S 型加速度加减速（加加速度控制）	★1	—	—	—	—
编程功能	直径/半径编程	●	●	—	●	●
	极坐标编程	●	—	—	●	—
	48 组附加工件坐标系设定	●	—	—	●	—
	蓝图编程	—	●	—	—	●
	G 代码体系 A、B、C	—	●	—	—	●
	普通车削循环	—	●	—	—	●
	自动倒圆角	—	●	—	—	●
	任意角度倒角	●	—	—	●	—
	复合车削循环	—	●	—	—	●
	端面深孔与槽加工循环	—	●	—	—	—
	孔加工循环	●	●	—	●	●
	拐角倍率控制	●	—	●	●	—
	拐角减速控制	●	—	●	●	—
	圆弧插补进给速度限制	●	—	●	●	—
	比例缩放	●	—	●	●	—
	坐标旋转	●	—	●	●	—
	可编程的镜像加工	●	—	—	●	—
	坐标系偏移和直接测量输入	—	●	—	—	●
	小孔排屑循环	●	—	—	●	—
	对话编程	●	●	●	●	●
	0i 引导编程	★	★	—	—	—
	轮廓编程	★	★	—	—	—
	车削加工引导循环	—	★	—	—	—
	动态刀具轨迹显示	★	★	—	—	—
	铣削加工引导循环	★	—	—	★	—
	C 语言、宏指令执行程序	★	★	★	★	★
	TURN MATE i 编程	—	★	—	—	★
	存储器容量扩展到 320KB	○2	○2	※	※	※
	存储器容量扩展到 512KB	○1	○1	●	●	●
	存储器容量扩展到 1MB 或 3MB、5MB、8MB	—	★	—	—	—
	存储器容量扩展到 2MB	★	★	★	—	—
	存储器容量扩展到 4MB	★	★	★	★	★
	存储器容量扩展到 6MB	★	★	★	—	—
	存储器容量扩展到 12MB	★	★	★	—	—

（续）

软件与功能		FS-0i			FS-0i Mate	
		MD	TD	PD	MD	TD
辅助功能	8 位 M 代码、8 位 B 代码	●	●	●	●	●
	高速 M/S/T/B 和辅助机能锁住	●	●	●	●	●
	每程序段 3 个 M 功能编程	●	●	●	●	●
	轴运动时辅助机能输出	★	★	—	—	—
	S 二进制/串行/模拟输出、传动级交换	●	●	—	●	●
	主轴实际转速输出	—	●	—	—	●
	主轴转速波动检测	—	●	—	—	—
	主轴定向准停、线速度恒定控制	●	●	—	●	●
	第 2 主轴定向准停	●	●	—	—	—
	主轴切换控制	●	●	—	—	—
	主轴同步控制	●	●	—	—	—
	简易主轴同步控制	★	—	—	—	—
	多主轴控制	★	●	—	—	★
	刚性攻螺纹	●	●	—	●	●
	手轮刚性攻螺纹	★	★	—	★	★
	主轴使用伺服电动机驱动	★	★	—	—	★
	αi 系列主轴控制	●	●	—	—	—
	βi 系列主轴控制	●	●	—	●	●
刀具补偿	7 +1 或 6 +2 刀号/刀偏 T 代码	—	●	—	—	●
	8 位 T 代码、H/D 指令刀补号	●	—	—	●	—
	64 组刀具补偿数据	—	●	—	—	●
	99 组刀具补偿数据	—	★	—	—	★
	400 组刀具补偿数据	●	—	—	●	—
	刀具位置偏置	●	●	—	●	●
	Y 轴位置偏置	—	●	—	—	—
	刀具补偿 C	●	—	—	●	—
	刀具形状、磨损补偿	—	●	—	—	●
	刀具寿命管理	●	●	—	●	●
	64/240/1000 组刀具寿命管理	★	★	—	—	—
	刀具寿命管理扩展 B、用户数据扩展	★	★	—	—	—
	刀具长度测量	●	●	—	●	●
补偿功能	反向间隙补偿、快速/进给分别补偿	●	●	●	●	●
	平滑型反向间隙补偿	★	★	★	—	—
	螺距误差补偿	●	●	●	●	●
	双向、直线型(斜度)螺距误差补偿	★	★	★	—	—
	直线度补偿	★	—	—	—	—
磨床功能	磨床功能 A	★	—	—	★	—
	磨床功能 B	★	★	—	★	★
冲床功能	冲床基本功能	—	—	●	—	—
	冲床附加功能	—	—	★	—	—
操作、设定、显示功能	后台编辑、程序保护、密码设定	●	●	●	●	●
	示教编程	●	●	—	●	●
	存储卡编辑与运行	★	★	★	★	★
	数据服务器编辑与运行	★	★	★	—	—
	时钟、运行时间/工件计数显示	●	●	●	●	●
	报警、报警履历、定期维护信息显示	●	●	●	●	●
	远程诊断	※	※	※	—	—
	伺服、主轴调整，伺服波形显示	●	●	●	●	●

（续）

软件与功能		FS-0i			FS-0i Mate	
		MD	TD	PD	MD	TD
操作、设定、显示功能	机床报警诊断	★	★	★	★	★
	机床操作菜单	★	★	★	—	—
	多语言显示与切换	●	●	●	●	●
	8 级数据保护	★	★	★	★	★
	精度等级设定	★	★	—	★	—
	图形显示	●	●	—	●	●
	动态刀具轨迹显示	★	★	—	★	★
	触摸屏	★	★	★	★	★
	触摸屏虚拟 MDI	★	★	★	—	—
数据输入/输出和通信	RS232、存储卡接口	●	●	●	●	●
	快速数据服务器	★	★	★	—	—
	快速以太网	★	★	★	—	—
	PROFIBUS-DP 主站	★	★	★	—	—
	PROFIBUS-DP 从站	★	★	★	—	—
	Device Net 主站	★	★	★	—	—
	Device Net 从站	★	★	★	—	—
	Modbus/TCP 通信	★	★	★	—	—
	FL-net	★	★	★	—	—
PMC 功能	PMC/L，梯形图 5000 步	○2	○2	—	●	●
	PMC/L，梯形图 8000 步、24000 步	★2	★2	—	★	★
	PMC，梯形图 24000 步	○1	○1	●	—	—
	PMC，梯形图 32000 步、64000 步	★1	★1	★	—	—
	多语言 PMC 信息显示	★	★	★	★	★
	256/256 点 DI/DO	※	※	※	●	●
	1024/1024 点 DI/DO	●	●	●	★	★
	附加 1024/1024 点 DI/DO（扩展通道 2）	★1	★1	★	—	—
	PMC 冗余检测（扩展通道 3）	★1	★1	★	—	—
	PMC 扩展指令	★	★	★	★	★
	I/O-Link 总线/AS-i 总线转换	★	★	★	★	★

3.1.4　PMC 基本性能

FS-0iD 及 FS-30/31/32i 数控系统均采用了 PMC/CNC 集成结构，为了与 FANUC 介绍资料统一名称，本书在介绍 FANUC 系统编程时，将统一以 PMC 代替 PLC。

FS-0iD 的 PMC 规格有 PMC/L 和 PMC 两种，PMC 的性能与 CNC 的基本型号有关，不同产品的主要 PMC 技术参数如表 3-2 所示。

表 3-2　FS-0iD 的 PMC 主要技术参数一览表

技术参数	PMC 型号	
	PMC/L	PMC
编程语言	梯形图	梯形图
梯形图容量（基本/扩展）	5000/8000 步	24000/32000 步
程序级数	2（高速/普通）	3（2 级高速/普通）
高速程序执行时间	8ms	8ms
基本指令执行时间	1μs/步	0.025μs/步

（续）

技 术 参 数	PMC 型号	
	PMC/L	PMC
最大 I/O 点数	0iD:1024/1024; 0iMateD:256/256	0iTD:2048/2048; 0iMD:1024/1024; 0iMateD:256/256
基本指令数	14	14
功能指令数	69	83
内部继电器(R)	1500 字节	8000 字节
扩展继电器(E)	10000 字节	10000 字节
信息显示请求位(A)	2000 点	2000 点
数据存储器(D)	3000 字节	10000 字节
可变定时器(T)	40 个	250 个
固定定时器(T)	100 个	500 个
可变计数器(C)	20 个	100 个
固定计数器(C)	20 个	100 个
控制继电器(K)	120 字节	200 字节
子程序编号(P)	512	5000
跳转标记号(L)	9999	9999

FS-30/31/32i 具有多 PMC 功能，系统可根据需要选配 1 ~3 个集成 PMC，PMC 的主要技术参数如表 3-3 所示。

表 3-3　FS-30/31/32i 的 PMC 主要技术参数一览表

技 术 参 数	PMC 型号		
	第一 PMC	第二 PMC	第三 PMC
编程语言	梯形图	梯形图	梯形图
梯形图容量	64000 步	64000 步	64000 步
程序级数	3	3	3
高速程序执行时间	4ms	4ms	4ms
基本指令执行时间	0.025μs/步	0.025μs/步	0.025μs/步
最大 I/O 点数	30i:4096/4096; 31/32i:3072/3072	30i:4096/4096; 31/32i:3072/3072	30i:4096/4096; 31/32i:3072/3072
基本指令数	14	14	14
功能指令数	83	69	69
内部继电器(R)	8000 字节	1500 字节	1500 字节
扩展继电器(E)	10000 字节	10000 字节	10000 字节
信息显示请求位(A)	2000 点	2000 点	2000 点
数据存储器(D)	10000 字节	3000 字节	3000 字节
可变定时器(T)	250 个	40 个	40 个
固定定时器(T)	500 个	100 个	100 个
可变计数器(C)	100 个	20 个	20 个
固定计数器(C)	100 个	20 个	20 个
控制继电器(K)	200 字节	120 字节	120 字节
子程序编号(P)	5000	512	512
跳转标记号(L)	9999	9999	9999

3.2　PMC 编程说明

3.2.1　程序基本格式

1. 程序结构

PMC 用户程序是编程指令的集合，编程指令的组织、管理和处理方式，称为 PMC 的程序结构。PMC 的程序结构决定于 PMC 操作系统的设计，不同生产厂家的产品有所不同，线性结构和分块结构是两种常用的程序结构。

线性结构的全部程序指令都集中在一个程序块中，程序处理时严格按照从上至下的次序执行所有指令，这是小型通用 PLC、CNC 集成 PMC 常用的结构。

分块结构的程序由多个程序块组成，执行程序时可以根据外部条件和控制要求，由负责管理的主程序，选择实际需要执行的程序块，它多用于动作复杂、程序容量大的大、中型通用 PLC。

线性结构的程序又有普通结构和分时管理两种类型。普通结构的线性程序最简单，其程序指令为依次排列，如果编程时没有特定的处理次序要求，程序段在程序中可任意排列，这种程序的处理可通过母线指令、跳转指令控制流程，程序的循环扫描时间固定。

分时管理的线性程序如图 3-3 所示，程序可分为高速扫描、普通扫描两部分。高速扫描程序的扫描时间固定，CPU 必须在规定的时间里，完成程序的输入采样、程序处理和输出刷新，因此，其输入采样、输出刷新的速度大大高于正常的程序处理。

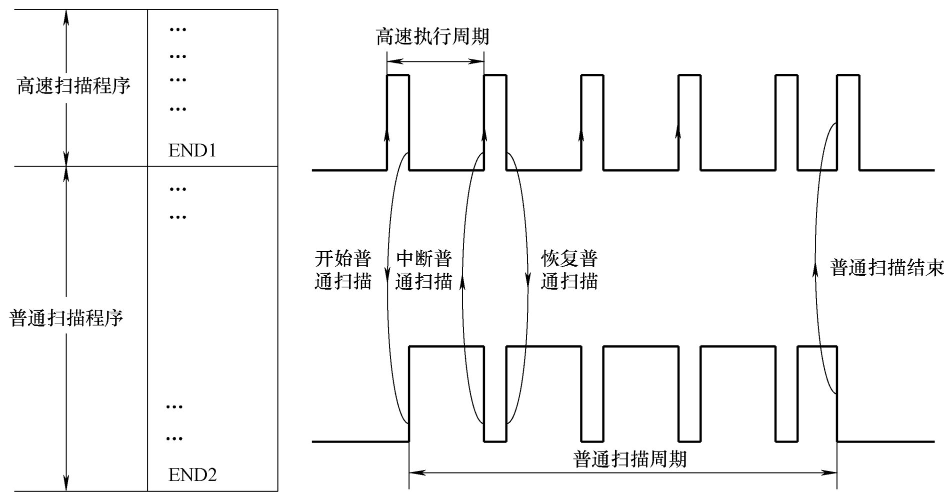


图 3-3　分时管理程序

高速扫描程序一般用于高速输入（如急停、回参考点减速、刀具测量等）、高速计数、程序中断等控制，其循环时间决定于 PMC 生产厂家的设计，因此，对于同样的 PMC，在不同机床上具有相同的循环时间。为了保证普通扫描程序的循环时间，高速扫描程序应尽可能简短。

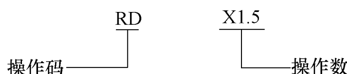
普通扫描程序按正常速度处理，但是，在程序处理过程中，如到达了高速扫描程序规定

的时间，CPU 必须立即中断现行普通扫描程序的处理、保存处理结果，并立即转入高速程序的处理。当高速扫描程序处理完成后，CPU 再次从中断的位置，继续执行普通程序。以上过程在普通扫描程序处理过程中，通常需要重复多次。普通扫描程序的循环扫描时间与本身的程序长度、高速扫描程序的长度等有关，即使对于同样的 PMC，它在不同机床上的循环扫描时间均不同。

FANUC 数控系统的集成 PMC 均采用了分时管理线性化结构，在 0iD-PMC/L 中，程序可分为一个高速扫描级（SUB1）和一个普通扫描级（SUB2）；在 0iD-PMC 和 30/31/32i 中，可分为两个高速扫描级（SUB1、SUB2）和一个普通扫描级（SUB3）。0iD 的高速扫描程序循环时间为 8ms；30/31/32i 的 PMC 高速扫描程序循环时间为 4ms。

2. 指令格式

所有 PMC 程序指令总是由如下操作码、操作数组成：



操作码又称指令代码，它用来定义 CPU 需要执行的操作；操作数又称地址，它用来定义操作对象。通俗地说，操作码告诉 CPU 需要做什么，而操作数则告诉 CPU 由谁来做。

FANUC 的 PMC 指令代码可分基本指令和功能指令两类；采用梯形图编程时，前者可用触点、线圈、连线等基本符号表示；后者需要用功能指令框表示。不同指令代码对操作数的要求有所不同，基本指令一般只要有一个操作数；功能指令有时需要多个操作数，具体可参见后面的说明。

指令中的操作数（PMC 地址）可采用绝对地址（Memory address）和符号地址（Symbol address）两种表示方式。

绝对地址是编程元件的实际存储器地址，每一编程元件都有唯一的绝对地址，例如，X1.5 代表 PMC 输入存储器第 1 字节的第 5 位等。存储器所使用的地址符（英文字母）在不同公司生产的产品上有所不同，如 FANUC 以 X 代表输入存储器、Y 代表输出存储器、R 代表内部寄存器等。此外，PMC 程序中可以使用的地址范围还与 CNC 的性能有关，具体可参见后面的说明。

符号地址是用英文字母或字符表示的编程元件地址，它可为 PMC 程序编辑、阅读提供方便，但不能取代绝对地址。符号地址和绝对地址可如图 3-4 所示，在 PMC 程序中混用。

符号地址由符号（Symbol）和注释（Comment）两部分组成。“符号”是编程元件的助记符，它可直接替代绝对地址在 PMC 程序上显示。例如，在图 3-4 上，当内部继电器 R0501.0（绝对地址）被定义为符号“ZRN”时，在 PMC 程序显示时，将直接用 ZRN 来替代绝对地址 R0501.0。如对输出线圈定义了符号地址，则其触点与线圈将同时用“符号”来替代绝对地址，例如，在图 3-4 中，内部继电器 R0501.3（绝对地址）的线圈被定义为符号“RST 2”时，其触点和线圈都显示为“RST 2”等。

“注释”是编程元件的简要说明，其字符数比“符号”更多。在梯形图上，触点的注释可显示在触点下方；线圈的注释显示在输出线圈的右侧；输出元件只需要对线圈进行注释，触点注释可自动显示。例如，图 3-4 的内部继电器 R0501.0 的注释为“ZERO RETURN”，内部继电器 R0501.3 的线圈注释为“RESET 2”等。

符号地址、注释需要编制注释文件（符号表）。在不同数控系统中，可以使用的符号地

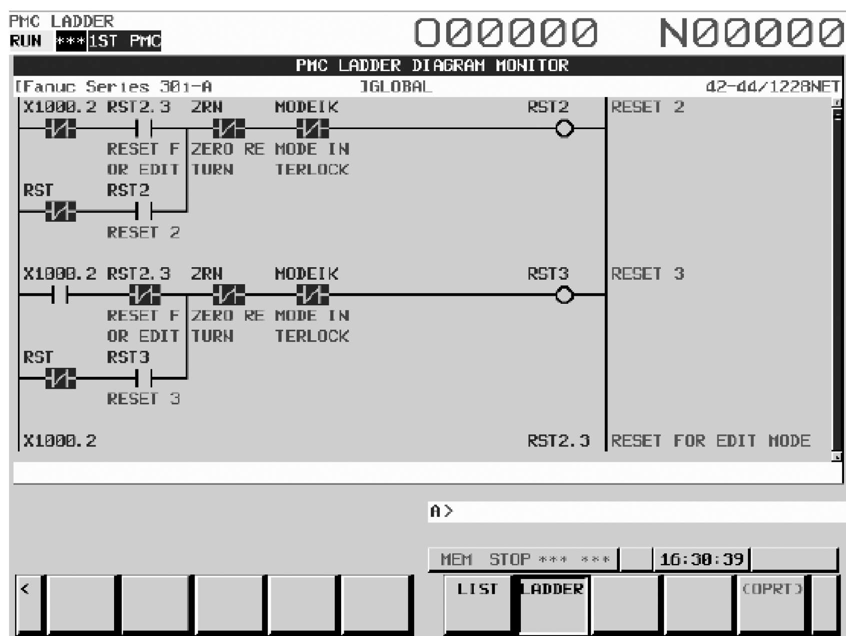


图 3-4　符号地址的使用

址数量、长度（最大字符数）有所不同。在大多数 FANUC 系统上，PMC 可使用的符号地址数量为 1KB，符号地址的基本长度为 16 字符；注释的基本长度为 30 字符。

3. 梯形图符号

FANUC 的 PMC 基本编程语言为梯形图，程序中常用的编程元件符号如表 3-4 所示。

表 3-4　编程元件的常用符号表

名　称	符　号	可使用的地址
常开触点	—|　|—	X、Y、F、G、R、D、E、K
常闭触点	—|/|—	X、Y、F、G、R、D、E、K
结果输出	—(　　)—	Y、G、R、D、E、K、A
结果取反输出	—○(　　)—	Y、G、R、D、E、K、A
结果复位	—(　R　)—	Y、G、R、D、E、K、A
结果置位	—(　S　)—	Y、G、R、D、E、K、A

4. 地址范围

PMC 程序中所使用的输入、输出、内部继电器、数据寄存器、定时器、计数器等通称编程元件。在数控系统上，PMC 作为机床辅助控制器，不但需要控制机床的辅助动作，而且还需要协调机床和 CNC 工作，因此，PMC 程序设计时既要处理机床侧的输入/输出信号，也要处理 CNC 侧的内部控制信号。

以常用的 FS-0iD 为例，PMC 程序设计时需要处理的输入/输出信号及地址范围如图 3-5 所示；由于 PMC 性能有所区别，0iD-PMC/L 和 0iD-PMC 可以使用的编程元件数量有所不同，其地址范围也有表 3-5 所示的区别。

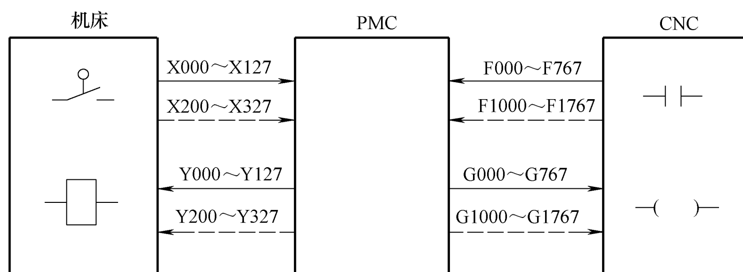


图 3-5　FS-0iD 的输入/输出信号

表 3-5　PMC 编程地址范围表

信号类别	地址范围	
	0iD-PMC/L	0iD-PMC
机床侧输入(机床→PMC)	X0 ~ X127	X0 ~ X127、X200 ~ X327
机床侧输出(PMC→机床)	Y0 ~ Y127	Y0 ~ Y127、Y200 ~ Y327
CNC 侧输入(CNC→PMC)	F0 ~ F767	F0 ~ F767、F1000 ~ F1767
CNC 侧输出(PMC→CNC)	G0 ~ G767	G0 ~ G767、G1000 ~ G1767
内部继电器	R0 ~ R1499	R0 ~ R7999
特殊内部继电器	R9000 ~ R9117	R9000 ~ R9499
扩展内部继电器	E0 ~ E9999	E0 ~ E9999
信息显示请求/状态指示位	A0 ~ A249/A9000 ~ A9249	A0 ~ A249/A9000 ~ A9249
定时器	T1 ~ T100	T1 ~ T500
计数器	C1 ~ C20	C1 ~ C100
断电保持型控制继电器	K0 ~ K19、K900 ~ K999	K0 ~ K99、K900 ~ K999
断电保持型数据寄存器	D0 ~ D2999	D0 ~ D9999
子程序号	P1 ~ P512	P1 ~ P5000
标记	L1 ~ L9999	L1 ~ L9999

表中的输入、输出、内部继电器、数据寄存器、控制继电器、信息显示请求位等编程元件都能以二进制位信号的形式使用，地址中的每一字节实际上都代表了 8 位二进制信号的状态，如 X0 代表输入信号 X0.0 ~ X0.7 等。此外，PMC 程序中实际可使用的地址，还与 CNC 的 I/O 性能有关，如 FS-0iMateD 允许连接的最大 I/O 点数为 256/256 点，因此，来自机床侧的最大输入/输出点数不能超过 32/32 字节，实际可以使用的地址为 X0 ~ X31/Y0 ~ Y31；而 FS-0iD 允许连接的最大 I/O 点数为 1024/1024 点，因此，来自机床侧的最大输入/输出点数可以达到 128/128 字节，实际可以使用的地址为 X0 ~ X127/Y0 ~ Y127 等。

5. 特殊内部继电器

特殊内部继电器又称系统内部继电器，这是由内部系统管理程序生成的特殊状态信号，在用户 PMC 程序中可使用其触点，但不能对线圈进行输出。正确使用特殊内部继电器，可以起到简化编程的目的。PMC 程序中常用的特殊内部继电器如下。

(1) 系统定时器

特殊内部继电器 R9091 为 PMC 系统定时寄存器，寄存器位所代表的意义如下。

R9091.0：恒“0”状态。

R9091.1：恒“1”状态。

R9091.5：周期 200ms 的脉冲信号，“1”状态时间 104ms、“0”状态时间 96ms。

R9091.6：周期 1s 的脉冲信号，“1”状态时间 504ms、“0”状态时间 496ms。

（2）比较结果寄存器

特殊内部继电器 R9000 为比较指令处理结果或算术运算状态，寄存器以下二进制位为“1”所代表的意义如下。

R9000.0：执行比较指令（功能指令 COMP 或 COMPB）时，代表输入数据和基准数据相等；执行算术运算指令时，代表运算结果为“0”。

R9000.1：执行比较指令（功能指令 COMP 或 COMPB）时，代表输入数据小于基准数据；执行算术运算指令时，代表算术运算结果为“负”。

R9000.5：算术运算溢出。

当 PMC 中执行文本数据输入（EXIN）、窗口数据读入（WINDR）、窗口数据写出（WINDW）时，R9000.0 用来指示指令执行的错误状态。

（3）运算结果寄存器

特殊内部继电器 R9002 ~ R9005 为算术运算指令的结果输出，例如，当 PMC 中执行二进制除法运算指令（DIVB）时，特殊内部继电器 R9002 ~ R9005 用于存储除法运算的余数等。

3.2.2　CNC-PMC 接口信号

程序中需要处理大量 CNC 和 PMC 间的接口信号，这是 CNC 集成 PMC 和通用 PLC 的最大区别。接口信号包括由 PMC 向 CNC 发送的控制信号和由 CNC 向 PMC 发送的工作状态信息、机床动作指令等。FANUC 系统 CNC-PMC 的接口信号众多，但很多信号都只有在 CNC 选择特殊的选择功能时才需要使用，其完整的说明可参见附录，数控机床 PMC 编程常用的基本信号如下。

1. PMC→CNC 接口信号

为了选择 CNC 的操作方式、控制坐标轴和主轴的运动、控制 CNC 加工程序的运行、调整坐标轴进给速度和主轴转速等，PMC 需要根据机床的操作要求和现行工作状态，通过 PMC 程序的处理，向 CNC 发送相关的控制信号；这些信号对 PMC 而言，属于输出信号，对 CNC 而言则属于输入信号。

在 FANUC 系统上，PMC→CNC 接口信号以地址 G 表示，信号的性质与机床侧输出 Y 相同，只是它不需要占用 PMC 的实际输出点而已。FANUC 系统常用的 PMC→CNC 接口信号如表 3-6 所示，信号的说明可参见本书附录。

表 3-6　常用的 PMC→CNC 接口信号一览表

地址（字节）	位(bit)							
	7	6	5	4	3	2	1	0
G004			MFIN3	MFIN2	FIN			
G005	BFIN	AFL		BFIN	TFIN	SFIN	EFIN	MFIN
G006		SKIPP		OVC		*ABSM		SRN
G007	RLSOT	EXLM	*FLWU	RLSOT3		ST	STLK	
G008	ERS	RRW	*SP	*ESP	*BSL		*CSL	*IT
G010	*JV7	*JV6	*JV5	*JV4	*JV3	*JV2	*JV1	*JV0
G011	*JV15	*JV14	*JV13	*JV12	*JV11	*JV10	*JV9	*JV8

（续）

地址（字节）	位(bit)							
	7	6	5	4	3	2	1	0
G012	*FV7	*FV6	*FV5	*FV4	*FV3	*FV2	*FV1	*FV0
G014							ROV2	ROV1
G016	F1D							
G018	HS2D	HS2C	HS2B	HS2A	HS1D	HS1C	HS1B	HS1A
G019	RT		MP2	MP1	HS3D	HS3C	HS3B	HS3A
G023			NOINPS					
G027	CON		*SSTP3	*SSTP2	*SSTP1	SWS3	SWS2	SWS1
G028	PC2SLC	SPSTP	*SCPF	*SUCPF		GR2	GR1	
G029		*SSTP	SOR	SAR				GR21
G030	SOV7	SOV6	SOV5	SOV4	SOV3	SOV2	SOV1	SOV0
G032	R08I	R07I	R06I	R05I	R04I	R03I	R02I	R01I
G033	SIND	SSIN	SGN		R12I	R11I	R10I	R09I
G034	R08I2	R07I2	R06I2	R05I2	R04I2	R03I2	R02I2	R01I2
G035	SIND2	SSIN2	SGN2		R12I2	R11I2	R10I2	R09I2
G038	*BECLP	*BEUCP			SPPHS	SPSYC		
G041	HS2ID	HS2IC	HS2IB	HS2IA	HS1ID	HS1IC	HS1IB	HS1IA
G042	DMMC				HA3ID	HS3IC	HS3IB	HS3IA
G043	ZRN		DNCI			MD4	MD2	MD1
G044							MLK	BDT1
G045	BDT9	BDT8	BDT7	BDT6	BDT5	BDT4	BDT3	BDT2
G046	DRN	KEY4	KEY3	KEY2	KEY1		SBK	
G053	CDZ	SMZ			UINT			TMRON
G054	UI007	UI006	UI005	UI004	UI003	UI002	UI001	UI000
G055	UI015	UI014	UI013	UI012	UI011	UI010	UI009	UI008
G060	*TSB							
G061			RGTSP2	RGTSP1				RGTAP
G062		RTNT					*CRTOF	
G066	EKSET			RTRCT			ENBKY	IGNVRY
G070	MRDYA	ORCMA	SFRA	SRVA	CTH1A	CTH2A	TLMHA	TLMLA
G071	RCHA	RSLA	INTGA	SOCNA	MCFNA	SPSLA	*ESPA	ARSTA
G072	RCHHGA	MFNHGA	INCMDA	OVRA	DEFMDA	NRROA	ROTAA	INDXA
G073				DSCNA		MPOFA	SLVA	MORCMA
G074	MRDYB	ORCMB	SFRB	SRVB	CTH1B	CTH2B	TLMHB	TLMLB
G075	RCHB	RSLB	INTGB	SOCNB	MCFNB	SPSLB	*ESPB	ARSTB
G076	RCHHGB	MFNHGB	INCMDB	OVRB	OEFMDB	NRROB	ROTAB	INDXB
G077				DSCNB		MPOFB	SLVB	MORCMB
G078	SHA07	SHA06	SHA 05	SHA 04	SHA 03	SHA 02	SHA 01	SHA 00
G079					SHA11	SHA 10	SHA 09	SHA 08
G080	SHB07	SHB06	SHB 05	SHB 04	SHB 03	SHB 02	SHB 01	SHB 00
G081					SHB11	SHB 10	SHB 09	SHB 08
G096	HROV7	*HROV6	*HROV5	*HROV4	*HROV3	*HROV2	*HROV1	*HROV0
G100					+J4	+J3	+J2	+J1
G102					-J4	-J3	-J2	-J1
G104					+EXL4	+EXL3	+EXL2	+EXL1
G105					-EXL4	-EXL3	-EXL2	-EXL1
G106					MI4	MI3	MI2	MI1
G108					MLK4	MLK3	MLK2	MLK1



（续）

地址（字节）	位（bit）							
	7	6	5	4	3	2	1	0
G114					* +L4	* +L3	* +L2	* +L1
G116					* −L4	* −L3	* −L2	* −L1
G118					* +ED4	* +ED3	* +ED2	* +ED1
G120					* −ED4	* −ED3	* −ED2	* −ED1
G124					DTCH4	DTCH3	DTCH2	DTCH1
G126					SVF4	SVF3	SVF2	SVF1
G130					* IT4	* IT3	* IT2	* IT1
G132					+MIT4	+MIT3	+MIT2	+MIT1
G134					−MIT4	−MIT3	−MIT2	−MIT1

2. CNC→PMC 接口信号

为了输出 CNC 的辅助功能指令以控制机床辅助部件的运动，并对 CNC 的实际工作状态进行显示、监控等，CNC 需要根据加工程序的需要，向 PMC 发送相应的辅助指令和工作状态信息；这些信号对 PMC 而言，属于输入信号，对 CNC 而言则属于输出信号。PMC 程序需要根据 CNC 的指令和工作状态信息，通过相关处理，向机床侧输出控制电磁执行元件动作、指示灯通断等的控制信号。

在 FANUC 系统上，CNC→PMC 的接口信号以地址 F 表示，信号的性质与机床侧输出 X 相同，只是它不需要占用 PMC 的实际输入点而已。FANUC 系统常用的 CNC→PMC 接口信号如表 3-7 所示，信号的说明可参见本书附录。

表 3-7　常用的 CNC→PMC 接口信号一览表

地址（字节）	位（bit）							
	7	6	5	4	3	2	1	0
F000	OP	SA	STL	SPL				RWD
F001	MA		TAP	ENB	DEN	BAL	RST	AL
F002	MDRN	CUT		SRNMV	THRD	CSS	RPDO	INCH
F003	MTCHIN	MEDT	MMEM	MRMT	MMDI	MJ	MH	MINC
F004			MREF	MAFL	MSBK	MABSM	MMLK	MBDT1
F005	MBDT9	MBDT8	MBDT7	MBDT6	MBDT5	MBDT4	MBDT3	MBDT2
F007	BF			BF	TF	SF	EFD	MF
F008			MF3	MF2				EF
F009	DM00	DM01	DM02	DM30				
F010	M07	M06	M05	M04	M03	M02	M01	M00
F011	M15	M14	M13	M12	M11	M10	M09	M08
F012	M23	M22	M21	M20	M19	M18	M17	M16
F013	M31	M30	M29	M28	M27	M26	M25	M24
F014	M207	M206	M205	M204	M203	M202	M201	M200
F015	M215	M214	M213	M212	M211	M210	M209	M208
F016	M307	M306	M305	M304	M303	M302	M301	M300
F017	M315	M314	M313	M312	M311	M310	M309	M308
F022	S07	S06	S05	S04	S03	S02	S01	S00
F023	S15	S14	S13	S12	S11	S10	S09	S08
F024	S23	S22	S21	S20	S19	S18	S17	S16
F025	S31	S30	S29	S28	S27	S26	S25	S24
F026	T07	T06	T05	T04	T03	T02	T01	T00

（续）

地址	位(bit)							
（字节）	7	6	5	4	3	2	1	0
F027	T15	T14	T13	T12	T11	T10	T09	T08
F028	T23	T22	T21	T20	T19	T18	T17	T16
F029	T31	T30	T29	T28	T27	T26	T25	T24
F030	B07	B06	B05	B04	B03	B02	B01	B00
F031	B15	B14	B13	B12	B11	B10	B09	B08
F032	B23	B22	B21	B20	B19	B18	B17	B16
F033	B31	B30	B29	B28	B27	B26	B25	B24
F034						GR3O	GR2O	GR1O
F035								SPAL
F036	R08O	R07O	R06O	R05O	R04O	R03O	R02O	R01O
F037					R12O	R11O	R10O	R09O
F038					ENB3	ENB2	SUCLP	SCLP
F039								MSPOS
F040	AR7	AR6	AR5	AR4	AR3	AR2	AR1	AR0
F041	AR15	AR14	AR13	AR12	AR11	AR10	AR09	AR08
F045	ORARA	TLMA	LDT2A	LDT1A	SARA	SDTA	SSTA	ALMA
F046	MORA2A	MORA1A	PORA2A	SLVSA	RCFNA	RCHPA	CFINA	CHPA
F047				EXOFA			INCSTA	PC1DTA
F048				CSPENA				
F049	ORARB	TLMB	LDT2B	LDT1B	SARB	SDTB	SSTB	ALMB
F050	MORA2B	MORA1B	PORA2B	SLVSB	RCFNB	RCHPB	CFINB	CHPB
F051				EXOFB			INCSTB	PC1DTB
F053	EKENB			BGEACT	RPALM	RPBSY	PRGDPL	INHKY
F054	UO007	UO006	UO005	UO004	UO003	UO002	UO001	UO000
F055	UO015	UO014	UO013	UO012	UO011	UO010	UO009	UO008
F056	UO107	UO106	UO105	UO104	UO103	UO102	UO101	UO100
F057	UO115	UO114	UO113	UO112	UO111	UO110	UO009	UO008
F058	UO123	UO122	UO121	UO120	UO119	UO118	UO117	UO116
F059	UO131	UO130	UO129	UO128	UO127	UO126	UO125	UO124
F061							BCLP	BUCLP
F062	PRTSF			S2MES	S1MES			AICC
F065				RTRCTF			RGSPM	RGSPP
F066			PECK2				RTPT	G08MD
F076			ROV2O	ROV1O	RTAP		MP2O	MP1O
F094					ZP4	ZP3	ZP2	ZP1
F096					ZP24	ZP23	ZP22	ZP21
F098					ZP34	ZP33	ZP32	ZP31
F100					ZP44	ZP43	ZP42	ZP41
F102					MV4	MV3	MV2	MV1
F104					INP4	INP3	INP2	INP1
F106					MVD4	MVD3	MVD2	MVD1
F108					MMI4	MMI3	MMI2	MMI1
F110					MDTCH4	MDTCH3	MDTCH2	MDTCH1
F120					ZRF4	ZRF3	ZRF2	ZRF1
F122								HDO0
F124					+OT4	+OT3	+OT2	+OT1
F126					-OT4	-OT3	-OT2	-OT1
F172	PBATL	PBATZ						
F180					CLRCH4	CLRCH3	CLRCH2	CLRCH1
F274				CSFO1				

3.2.3 功能指令与编程

在 PMC 上，除基本逻辑运算外，还经常需要进行定时、计数、比较、算术运算、程序转移等处理，实现这些功能的 PMC 编程指令称为功能指令。功能指令不能通过简单的逻辑“与”、“或”、“非”运算实现，因此，不能简单地用梯形图的常开/常闭触点串并联、输出线圈等形式表示，它需要采用特殊的编程形式。

1. 编程格式

在梯形图上，功能指令一般以“功能框”的形式进行编程，功能框的形式在不同 PMC 上有所不同，FANUC 系统 PMC 功能指令的编程形式如图 3-6 所示。

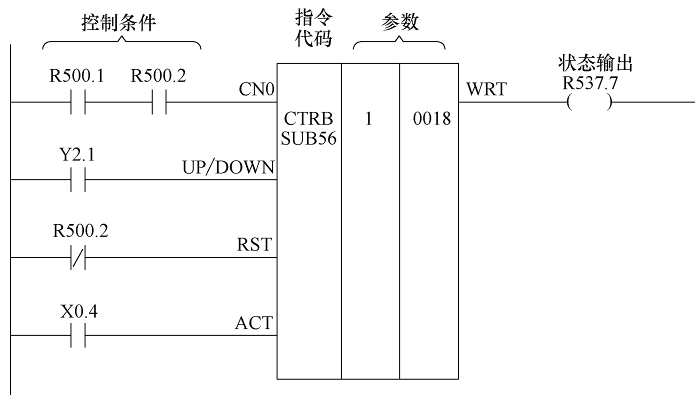


图 3-6 功能指令的编程形式

FANUC 系统的 PMC 功能指令一般由控制条件、指令代码、参数、状态输出 4 部分组成，其作用和含义分别如下。

1）控制条件。控制条件是功能指令的输入和执行条件，它因功能而异。控制条件以助记符表示，例如，ACT 为指令执行的启动输入；RST 为指令复位输入等。不同功能指令对控制条件有规定的要求，在编程时不可省略，也不能改变位置（输入次序）；复位输入 RST 具有最高优先级，当 RST 为“1”时，即使 ACT 为“1”，指令也不能启动和执行。

2）指令代码。指令代码在程序中以英文助记符的形式表示，例如，TMR 代表定时指令、CTRC 代表回转计数指令等，FS-0iD 常用功能指令可参见后述的功能指令一览表。

从某种意义上说，功能指令是 PMC 生产厂家预先设计、参数化编程的 PMC 子程序，执行功能指令，相当于调用了某一子程序，因此，在 FANUC 数控系统上，功能指令还可以用 SUB 号进行表示。SUB 号与功能指令代码一一对应，例如，固定计数器的指令代码为 CTRB，对应的 SUB 号为 SUB 56 等。

3）参数。参数是功能指令执行需要的操作数。参数的数量、意义因指令而异，多字节、多字操作的功能指令需要定义多个参数，而程序结束指令 END、空操作指令 NOP 等则不需要参数。

4）状态输出。状态输出是功能指令的执行结果，其内容与指令的功能有关，例如，定时指令的输出相对于延时接通的线圈等。状态输出为二进制位，故可用线圈的形式编程，线圈地址可由编程者定义，但以使用内部继电器 R 的情况居多。状态输出与功能指令有关，

如数据传送、程序结束等指令不能（不需要）生成二进制状态信息，也就无状态输出。

算术运算、数据比较等指令的结果无法通过二进制位存储，为此，PMC 设计有专门用来存储算术运算、数据比较等结果的特殊内部继电器 R9000 ~ R9005，有关 R9000 ~ R9005 的说明可参见前述。

2. 数据存储格式

逻辑运算指令处理的是二进制位信号，其操作数、执行结果均可利用存储器的二进制位指定和保存；功能指令有时需要进行字节、字、双字操作，其操作数、执行结果的存储同样需要使用字节、字、双字存储器。

PMC 数据存储器一般以存储器的起始字节形式指定，数据在 PMC 存储器上的存储格式，在不同 PMC 上可能有所不同。FANUC 系统 PMC 数据存储器的起始字节所存储的是数据的最低字节，它原则上应为偶数地址。例如，当程序中指令了 D200 时，对于字节操作指令，它代表 D200 的 8 位二进制信号 D200.0 ~ D200.7；对于字操作指令，则代表 D200 和 D201 上存储的 16 位二进制信号 D200.0 ~ D200.7 和 D201.0 ~ D201.7；对于双字操作指令，则代表 D200 ~ D203 上所存储的 4 字节数据等。不同类型的数据存储格式如下。

1）十进制数。十进制数以 BCD 正整数的形式存储，其格式如图 3-7 所示，存储器的起始字节为十位和个位；高字节为千位和百位，依次类推。



图 3-7　十进制数的存储格式

2）二进制数。二进制数可以带符号和使用浮点小数，数据的存储格式如图 3-8 所示，存储器的起始字节为数据低 8 位（2^7 ~ 2^0）；高字节为高 8 位（2^{15} ~ 2^8），依次类推；最高位为符号位。

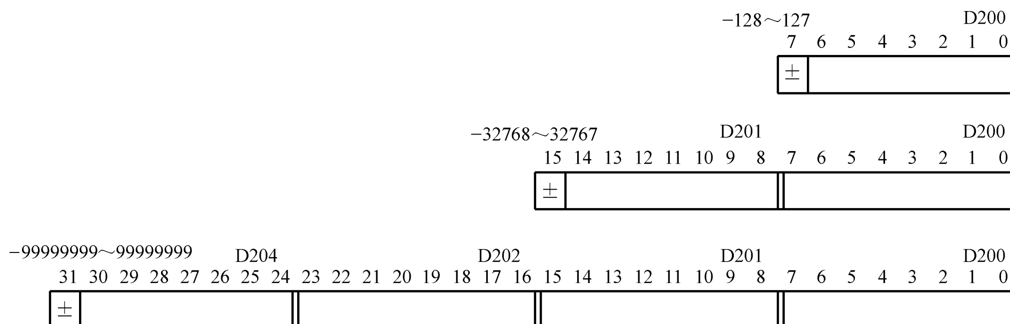


图 3-8　二进制数的存储格式



3. 常用功能指令

PMC 可以使用的功能指令数量与 PMC 的功能有关，常用的功能指令有定时、计数、数据比较、译码、转换、传送、逻辑运算扩展、数学运算、程序控制和数据交换等，其指令代码和功能如表 3-8 所示。

表 3-8 PMC 常用的功能指令表

类　别	指令代码	指令代号	指令功能
定时与计数	TMR	SUB3	可设定定时器
	TMRB	SUB24	固定时间定时器
	TMRC	SUB54	可变定时器
	TMRBF	SUB77	延时断开定时器
	CTR	SUB5	可设定计数器
	CTRB	SUB56	固定计数器
	CTRC	SUB55	可变计数器
回转控制	ROT	SUB6	十进制回转控制器
	ROTB	SUB26	二进制回转控制器
数据比较、译码、转换、传送和判别	COIN	SUB16	十进制数据一致判断
	COMP	SUB15	十进制数据比较
	COMPB	SUB32	二进制数据比较
	PARI	SUB11	奇偶判断(奇偶校验)
	DEC	SUB4	十进制数据译码
	DECB	SUB25	二进制数据连续译码
	DCNV	SUB14	二/十进制数据转换
	DCNVB	SUB31	扩展的二/十进制数据转换
	COD	SUB7	任意十进制数据转换
	CODB	SUB27	任意二进制数据转换
	NUME	SUB23	十进制常数传送
	NUMEB	SUB40	二进制常数传送
	MOVB	SUB43	字节传送
	MOVW	SUB44	字传送
	MOVD	SUB47	双字传送
	MOVN	SUB45	任意字节传送
	EQB	SUB200	1 字节二进制数据判别(等于)
	EQW	SUB201	2 字节二进制数据判别(等于)
	EQD	SUB202	4 字节二进制数据判别(等于)
	NEB	SUB203	1 字节二进制数据判别(不等于)
	NEW	SUB204	2 字节二进制数据判别(不等于)
	NED	SUB205	4 字节二进制数据判别(不等于)
	GTB	SUB206	1 字节二进制数据判别(大于)
	GTW	SUB207	2 字节二进制数据判别(大于)
	GTD	SUB208	4 字节二进制数据判别(大于)
	LTB	SUB209	1 字节二进制数据判别(小于)
	LTW	SUB210	2 字节二进制数据判别(小于)
	LTD	SUB211	4 字节二进制数据判别(小于)
	GEB	SUB212	1 字节二进制数据判别(大于等于)
	GEW	SUB213	2 字节二进制数据判别(大于等于)
	GED	SUB214	4 字节二进制数据判别(大于等于)
	LEB	SUB215	1 字节二进制数据判别(小于等于)
	LEW	SUB216	2 字节二进制数据判别(小于等于)
	LED	SUB217	4 字节二进制数据判别(小于等于)
	RNGB	SUB218	1 字节二进制数据判别(范围)
	RNGW	SUB219	2 字节二进制数据判别(范围)
	RNGD	SUB220	4 字节二进制数据判别(范围)

（续）

类　　别	指令代码	指令代号	指令功能
逻辑运算扩展	DIFU	SUB57	上升沿检测
	DIFD	SUB58	下降沿检测
	MOVE	SUB8	字节“与”
	MOVOR	SUB28	字节“或”
	AND	SUB60	逻辑与
	OR	SUB61	逻辑或
	EOR	SUB59	异或
	NOT	SUB62	逻辑非
	NOP	SUB70	空操作
算术运算	ADD	SUB19	十进制加法
	SUB	SUB20	十进制减法
	MUL	SUB21	十进制乘法
	DIV	SUB22	十进制除法
	ADDB	SUB36	二进制加法
	SUBB	SUB37	二进制减法
	MULB	SUB38	二进制乘法
	DIVB	SUB39	二进制除法
	SFT	SUB33	移位
程序控制	END1	SUB1	第 1 级程序结束
	END2	SUB2	第 2 级程序结束
	END3	SUB48	第 3 级程序结束
	END	SUB64	梯形图程序结束
	CALL	SUB65	条件调用子程序
	CALLU	SUB66	无条件调用子程序
	SP	SUB71	子程序开始
	SPE	SUB72	子程序结束
	JMPC	SUB73	子程序标记返回
	COM	SUB9	公共线控制开始
	COME	SUB29	公共线控制结束
	JMP	SUB10	程序跳过
	JMPE	SUB30	程序跳过结束
	JMPB	SUB68	标记跳转
	LBL	SUB69	跳转标记
数据表操作	DSCH	SUB17	十进制数据检索
	DSCHB	SUB34	二进制数据检索
	XMOV	SUB18	十进制数据传送
	XMOVB	SUB35	二进制数据传送
数据交换	DISPB	SUB41	文本信息显示
	EXIN	SUB42	文本信息输入
	MMCWR	SUB98	MMC 数据读取
	MMCWW	SUB99	MMC 数据写出
	WINDR	SUB51	CNC 窗口数据读取
	WINDW	SUB52	CNC 窗口数据写出
	AXCTL	SUB53	PMC 轴控制

3.3 常用指令及编程

3.3.1 定时和计数指令

1. 定时指令

PMC 定时指令有 TMR、TMRB、TMRC 三种，指令功能及编程格式分别如下。

（1）TMR 指令

TMR 定时指令的时间可通过 PMC 参数设定和改变，它是 PMC 最常用的定时指令，指令的编程格式与功能如图 3-9 所示。

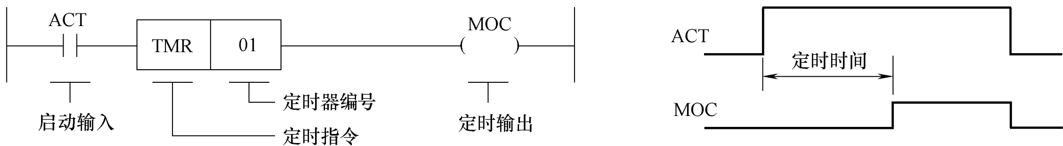


图 3-9 TMR 指令的编程格式

指令中的定时器编号与 PMC 规格有关，例如，FS-0iD 选择 PMC/L 时，编号可为 1 ~ 40，选择 0iD-PMC 时，则可为 1 ~ 250 等。指令中的 ACT 为定时器启动信号，ACT 为“1”时启动定时；指令中的 MOC 为延时接通状态输出，当 ACT 为“1”且状态保持时间大于延时设定值时，MOC 输出“1”。

TMR 指令的时间单位为 ms，但定时器精度与定时器的编号有关，T1 ~ T8 的实际定时精度为 48ms、定时范围为 48ms ~ 1572.8s；T9 ~ T250 的实际定时精度为 8ms、定时范围为 8ms ~ 262.136s。当 PMC 参数设定的时间不是定时精度的整数倍时，余数被忽略，例如，当 T1 设定 500ms 时，实际延时时间为 480ms。TMR 指令的延迟时间不能在程序上指定，它需要通过 CNC 的 PMC 参数设定操作，在定时器（TIMER）设定页面上设定，有关内容可参见本书作者编著的《FANUC-0iD 编程与操作》一书（机械工业出版社，2013 年 5 月）。

（2）TMRB/TMRBF 指令。TMRB/TMRBF 为固定定时指令，TMRB 用于延时接通控制、TMRBF 用于延时断开控制，指令的编程格式与功能如图 3-10 所示。

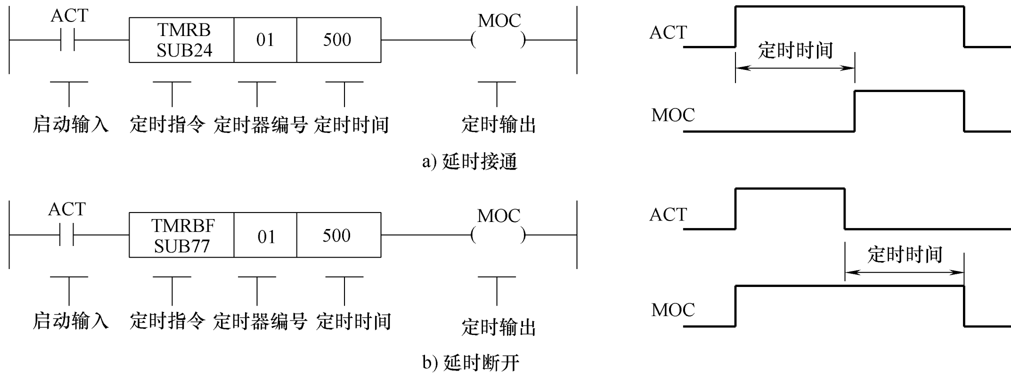


图 3-10 TMRB/TMRBF 指令的编程格式



指令中的 ACT、MOC 含义与 TMR 相同；定时器编号与 PMC 规格有关，FS-0iD 选择 PMC/L 时，编号可为 1～100，选择 0iD-PMC 时，则可为 1～500 等。TMRB/TMRBF 指令的延迟时间可在程序中指定，时间单位为 1ms，但实际定时精度为 8ms，当设定时间不是定时精度的整数倍时，余数部分被忽略；定时器的定时范围为 8ms～32760s。

（3） TMRC 指令

TMRC 为 FANUC 早期 CNC 常用的 PMC 定时指令，指令的编程格式与功能如图 3-11 所示。

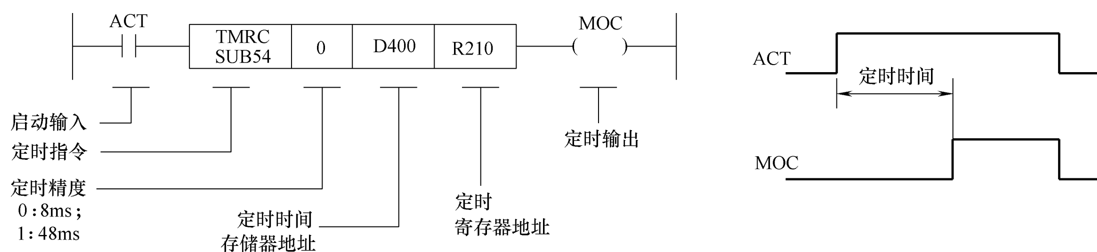


图 3-11　TMRC 指令的编程格式

指令中的 ACT、MOC 含义与 TMR 相同，指令的定时精度可通过程序指定 8ms 或 48ms；定时范围为 8ms ～1572. 816s；当设定时间不为定时精度整数倍时，余数部分被忽略。TMRC 指令可通过常数、2 字节数据存储器 D 或内部继电器 R 来指令延时时间，例如图中的 D400/D401 等，因此，其定时时间既可直接在程序中指令或改变，也可利用 CNC 的操作进行设定，其使用较灵活。但是，由于 TMRC 的定时控制需要占用连续 4 字节存储器（D 或 R），如图中的 R200～R203 等，且定时器的时间设定、修改不及 TMR 指令方便、直观，故目前已较少使用。

2. 计数指令

PMC 的计数器指令有 CTR、CTRB、CTRC 三种，指令的功能和编程格式分别如下。

（1） CTR 指令

CTR 为可变计数器指令，其计数值可通过 PMC 参数进行设定，它是最常用的计数指令，指令的编程格式与功能如图 3-12 所示。

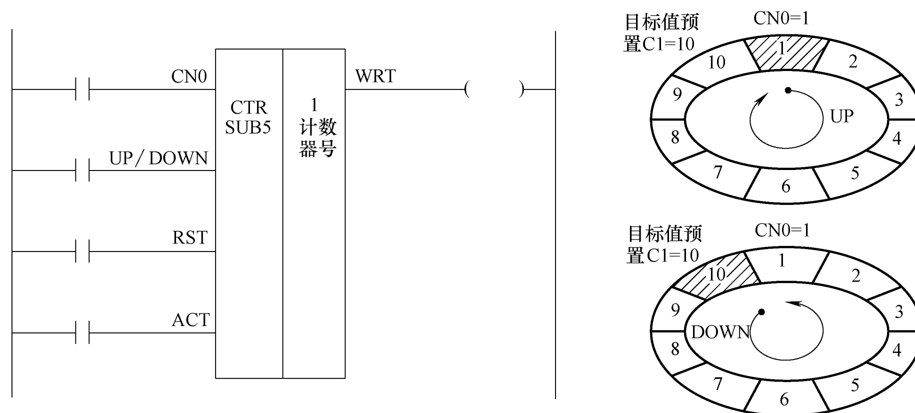


图 3-12　CTR 指令的编程格式

指令的控制条件如下。

CN0：计数起始值选择。CN0 =0，计数起始值为 0；CN0 =1，计数起始值为 1。

UP/DOWN：计数方向选择。UP/DOWN =0 为加计数，每输入一个计数脉冲，现行计数值加 1；UP/DOWN =1 为减计数，每输入一个计数脉冲，现行计数值减 1。

RST：计数器复位输入。RST =0 时输入无效；RST =1 时，现行计数值复位到起始值；状态输出 W1 复位。

ACT：计数脉冲输入。输入上升沿有效。

WRT：计数器状态输出。加计数时，当现行计数值到达预置目标值时 WRT =1；减计数时，当现行计数值到达起始值时 WRT =1。

计数器号：指令中的计数器号与 PMC 规格有关，例如，FS-0iD 选择 PMC/L 时，可以为 1 ~20，选择 0iD-PMC 时，可以为 1 ~100 等。

CTR 指令的目标值（PRESET）与现行计数值（CURRENT）一般通过 CNC 的 PMC 参数设定操作设定，有关内容可参见本书作者编著的《FANUC-0iD 编程与操作》一书（机械工业出版社，2013 年 5 月）。目标值、现行计数值可在 PMC 程序中读取（参见 5.3 节）。

（2） CTRB 指令

CTRB 为固定计数器编程指令，指令的编程格式与功能如图 3-13 所示。

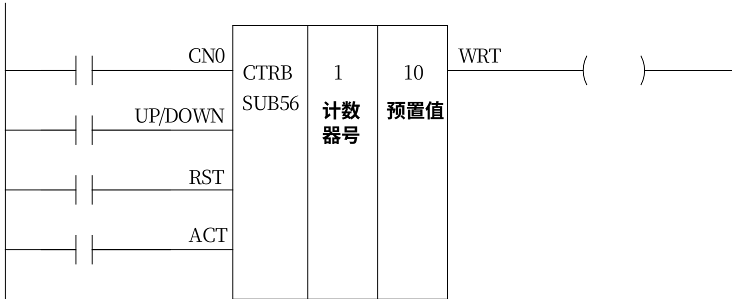


图 3-13　CTRB 指令的编程格式

CTRB 指令的控制条件和状态输出 WRT 的意义同 CTR 指令，但预置目标值可直接在程序指令上设定，设定范围为 1 ~32767（图中为 10）。

（3） CTRC 指令

CTRC 为 FANUC 早期 CNC 常用的 PMC 可变计数器指令，指令的编程格式与功能如图 3-14 所示。

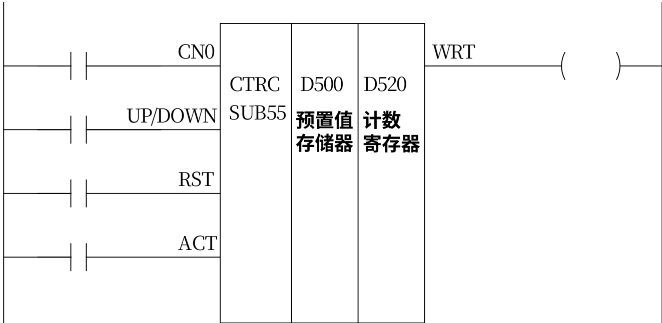


图 3-14　CTRC 指令的编程格式

CTRC 指令的控制条件、状态输出 WRT 的含义同 CTR 指令。CTRC 指令可通过常数、2 字节数据存储器 D 或内部继电器 R 来设定目标预置值，如图中的 D500/D501 等，因此，其预置目标值既可直接在程序中指令或改变，也可利用 CNC 的操作进行设定，其使用较灵活。但是，由于 CTRC

的定时控制需要占用连续 4 字节存储器（D 或 R），如图中的 D520 ~ D523 等，且计数器的设定、修改不及 CTR 指令方便、直观，故目前已经较少使用。

3.3.2 回转控制指令

回转控制指令是 FANUC 公司根据加工中心刀库、数控车床刀架及工作台分度等数控机床常见回转控制要求而设计的专用指令，指令可根据目标位置和当前位置，自动输出转向、剩余位置等数据，是自动换刀等控制常用的编程指令（参见本书第 5 章、第 6 章）。

PMC 的回转控制指令有十进制回转控制 ROT 和二进制回转控制 ROTB 两条，在早期的 FANUC 系统上，M/T/B 等辅助机能代码输出为十进制（BCD 码）格式，故使用 ROT 指令的情况居多；而新系列的 FS-0iD 等 CNC，其 M/T/B 等辅助机能代码的输出均为二进制，故使用 ROTB 指令更为方便。

1. 十进制回转控制指令

十进制回转控制指令 ROT 的编程格式如图 3-15 所示，指令的编程要求如下。



图 3-15 ROT 指令的编程格式

（1）控制条件

ROT 指令需要定义如下控制条件。

RN0：回转计数起始值选择。RN0 = 0 时计数起始值为 0；RN0 = 1 时计数起始值为 1。

BYT：回转体的参数范围选择。BYT = 0 为 1 字节两位 BCD 码 1 ~ 99；BYT = 1 为 2 字节四位 BCD 码 1 ~ 9999。

DIR：捷径选择功能定义。DIR = 0 时捷径选择功能无效；DIR = 1 时捷径选择功能有效。

POS：定位目标选择。POS = 0 时以指令中的目标位置值为定位目标；POS = 1 时以指令中的目标位置的前一位置作为定位目标。

INC：剩余位置的输出形式选择。INC = 0 为绝对位置输出，直接以定位目标位置作为剩余位置输出；INC = 1 为增量位置输出，剩余位置输出值为从当前位置到定位目标需转过的回转体分度位置数。

ACT：回转控制指令启动信号。该信号一般采用边沿信号。

（2）参数

ROT 指令需要定义如下参数，参数需要以十进制（BCD 码）的形式给定。

回转体分度数：以常数形式给定的回转体每转的分度位置数，例如，1°分度的转台应定义为 360、对于 18 个位置的刀库应定义为 18 等。

当前位置值：给定回转体当前的位置值（绝对值），当前位置值需要以存储器地址的形式给定，例如，字节、字形式组合的输入、数据存储器 D 或内部继电器 R 等，图中为数据寄存器 D210。

目标位置值：给定定位的目标位置值（绝对值），目标位置可用常数或存储器地址的形式给定，图中为数据寄存器 D220。

（3）执行结果输出

ROT 指令的执行完成后可输出如下结果。

剩余位置：根据控制条件 INC 的定义，可输出目标位置值或需要转过的分度位置数。

WRT：转向输出。捷径选择功能有效时，WRT 可自动选择距离最短的回转方向，WRT = 0 为正转、WRT = 1 为反转。如捷径选择功能无效，WRT 输出为 0（正转）。

2. 二进制回转控制指令

二进制回转控制指令 ROTB 的控制条件、参数及指令的作用、功能均与 ROT 类似，指令的编程格式如图 3-16 所示。



图 3-16　ROTB 指令的编程格式

ROTB 指令和 ROT 指令在使用上主要有如下区别。

1）ROT 指令中的回转体分度数，需要以常数的形式指定，改变分度数需要修改 PMC 程序，但 ROTB 的回转体分度数使用存储器地址，故可通过 MDI/LCD 面板的设定，在不修改 PMC 程序的情况下直接改变。

2）ROT 指令中使用的参数为十进制格式（BCD 码），而 ROTB 中使用的参数为二进制，因此，对于 FS-0iC/D 等 M/T/B 代码为二进制输出的 CNC 来说，可利用 M/T/B 代码直接定义目标位置，而不需要进行数据格式的转换。

3）ROT 指令中可控制的回转体最大分度数为 9999（2 字节 BCD 码），而 ROTB 最大可以控制的分度位置数为 4 字节二进制数 4294967295（$2^{32}-1$），其控制范围更大。

4）ROT 指令的参数范围通过控制条件 BYT 进行定义，ROTB 则通过指令参数进行定义。指令中的数据格式参数的定义方式如下。

1：1 字节二进制数；

2：2 字节二进制数；

4：4 字节二进制数。

3.3.3 数据比较、译码、传送类指令

1. 数据比较指令

FANUC 系统 PMC 可使用的数据比较指令有 COIN、COMP、COMPB、PARI 等，其中，COIN 用于一致比较，COMP 用于十进制比较，COMPB 用于二进制比较，PARI 为奇偶校验指令。比较指令的编程格式和功能如下。

（1）COIN 指令

COIN 指令用于十进制数据（BCD 码）的一致判断，当输入数据和基准数据一致时，结果输出为“1”，否则为“0”，指令的编程格式如图 3-17 所示。



图 3-17 COIN 指令的编程格式

指令的控制条件中的 BYT 为数据长度选择，BYT＝0 为 2 位 BCD 码；BYT＝1 为 4 位 BCD 码。ACT 为数据比较启动信号，ACT＝1 时，数据比较开始，结果输出状态将更新；ACT＝0 时，不进行数据比较，结果输出保持不变。

指令参数中的输入数据格式设定 0 时，输入数据以常数形式指定；设定 1 时，输入数据以存储器地址形式指定。指令中的输入数据是按规定的格式输入的被比较数据；基准数据是数据比较的基准，它需要以存储器地址的形式指定。

结果输出 WRT 为比较结果的状态输出，如输入数据和基准数据一致，WRT 输出为 1，否则 WRT 为 0。

（2）COMP 指令

COMP 指令用于十进制数（BCD 码）的大小比较，当输入数据小于基准数据时，结果输出为“1”，否则输出为“0”，指令的编程格式如图 3-18 所示。

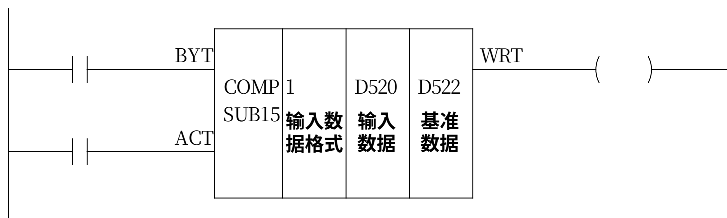


图 3-18 COMP 指令的编程格式

COMP 指令的控制条件、参数要求与 COIN 指令相同，如输入数据小于基准数据，结果输出 WRT 为“1”；否则 WRT 输出为“0”。

（3） COMPB 指令

COMPB 指令用于二进制数据的大小比较，其比较结果存储在 PMC 的内部特殊继电器 R9000 中，指令的编程格式如图 3-19 所示。

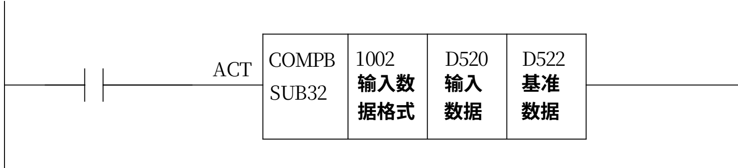


图 3-19 COMPB 指令的编程格式

COMPB 指令的功能、控制条件、参数与 COMP 指令基本相同，但其输入数据的格式和长度，需要通过输入数据格式这一参数进行定义。输入数据格式参数是 4 位十进制常数，其前 2 位用于数据格式定义，00 为常数，10 为存储器地址；后 2 位定义数据长度，01 为 1 字节，02 为 2 字节，04 为 4 字节。

数据比较结果存储于 PMC 的特殊内部继电器 R9000 上，当输入数据等于基准数据时，R9000.0 = 1；当输入数据小于基准数据时，R9000.1 = 1。

（4） PARI 指令

PARI 指令用于数据的奇偶性判断，多用于通信。奇偶校验按字节进行，校验出错时可在 WRT 上输出错误信号，指令的编程格式如图 3-20 所示。

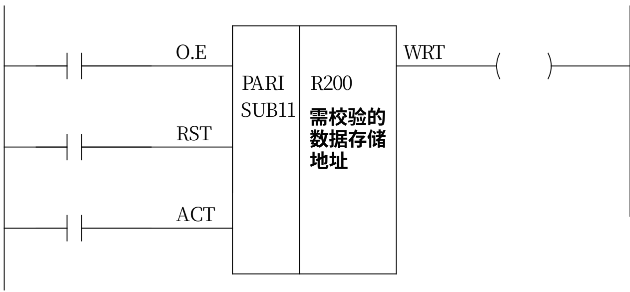


图 3-20 PARI 指令的编程格式

PARI 指令控制条件中的 O.E 用来定义校验方式，O.E = 0 为偶校验；O.E = 1 为奇校验。RST 为复位输入，RST = 1 时错误输出 WRT 将复位。ACT 为数据校验启动输入，ACT = 1 时校验开始，结果输出 WRT 状态更新；ACT = 0 时数据校验无效，结果输出 WRT 保持不变。

2. 数据译码指令

数据译码指令的作用与数据比较指令类似，当输入数据与基准数据（译码值）一致时，其执行结果输出为 1。FS-0iD 的 PMC 译码指令有 DEC、DECB 两种，DEC 用于十进制（BCD 码）译码；DECB 用于二进制译码。指令的编程格式和功能如下。

（1） DEC 指令

DEC 指令用于 2 位十进制数译码，输入数据应为 BCD 格式的十进制数，指令的编程格式如图 3-21 所示。

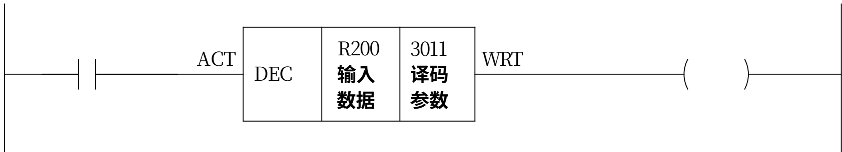


图 3-21 DEC 指令的编程格式

图中的 ACT 为译码启动信号，WRT 为译码输出，其作用和含义与指令 COIN 相同。

指令中的输入数据为需要进行译码的输入数据，它应以存储器地址的形式指定（图中为 R200）。指令中的译码参数用来定义基准数据和译码位数，以 4 位十进制常数的形式定义，前 2 位定义基准数据（译码值，图中为 30）；后 2 位定义译码位数，设定 01 时，只对个位译码；设定 10 时只对十位译码；设定 11 时，同时对个位和十位译码。例如，对于图 3-21 的程序，如果输入数据 R200 = 30，其输出 WRT = 1；如将译码参数定义为 3001，则只要 R200 的个位为 0，其输出 WRT 就为“1”，即在 R200 = 00、10、20、…、90 时，输出 WRT 均为 1。

（2） DECB 指令

DECB 指令可对 1、2 或 4 字节的二进制数进行连续译码，每次可译出 8 个连续数据，指令的编程格式如图 3-22 所示。

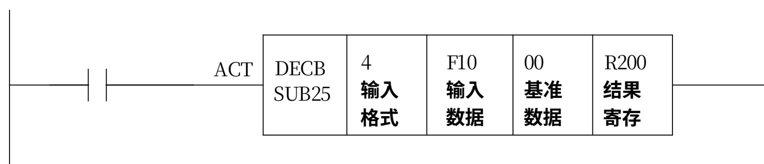


图 3-22　DECB 指令的编程格式

指令中的 ACT 为译码启动信号，其含义与指令 COIN 相同。指令参数的要求如下。

输入格式：以常数形式定义的输入数据长度，1、2、4 分别代表 1、2、4 字节二进制数。

输入数据：需要译码的输入数据，应以存储器地址的形式指定（图中为 F10）。

基准数据：以常数形式定义的基准数据的起始值，由于 DECB 可进行 8 个连续正整数的译码，故定义为 00 时，就相当于给定了 8 个连续基准数据 00、01、02、…、07。

结果寄存：结果寄存器应为 1 字节的内部继电器或数据寄存器（图中为 R200），它用来存储 8 个连续数据的比较结果，当输入数据与基准数据的起始值一致时，寄存器的 bit0 为“1”；当输入数据与第 2 个基准数据一致时，寄存器的 bit1 为“1”，依次类推。例如，对于图 3-22 的程序，因为 F10 为 CNC 的 4 字节二进制 M 代码输出，它可进行 CNC 的 M00 ~ M07 指令译码，其结果保存在 R200. 0 ~ R200. 7 上，即 CNC 输出 M00 时，R200. 0 = 1，输出 M01 时，R200. 1 = 1 等。

3. 数据转换指令

PMC 的数据转换指令可用于二/十进制转换和任意数据转换。数据转换指令有 DCNV、DCNVB 和 COD、CODB 两类，前者用于二/十进制转换，后者用于任意数据转换。

（1） DCNV 指令

DCNV 指令可将二进制数转换为十进制数（BCD 码），或反之，指令的编程格式如图 3-23 所示。

DCNV 指令的控制条件如下。

BYT：输入/输出数据的格式（字长）选择。BYT = 0 为 1 字节；BYT = 1 为 2 字节。

CNV：数据转换方式。CNV = 0 为二进制→十进制转换；CNV = 1 为十进制→二进制转换。

RST：复位输入，RST = 1 时可将错误输出 WRT 复位。

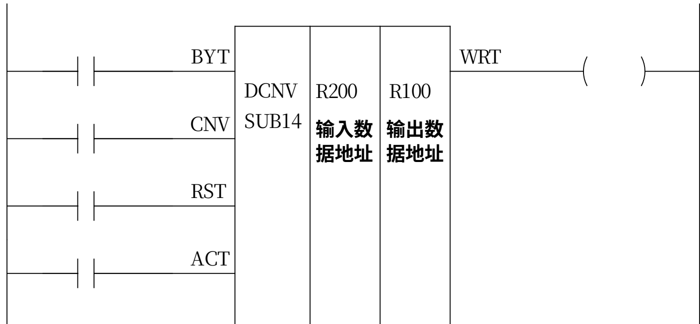


图 3-23　DCNV 指令的编程格式

ACT：数据转换启动输入，ACT = 1 时启动数据转换。

指令的参数要求如下。

输入数据地址：定义需要进行转换的数据存储器地址。

输出数据地址：定义保存转换结果的数据存储器地址。

WRT：错误输出，当转换数据格式错误或数据溢出时，WRT 输出“1”。

（2）DCNVB 指令

DCNVB 指令的作用与 DCNV 基本相同，但它可用于 4 字节数据转换，且可转换负数，指令的编程格式如图 3-24 所示。

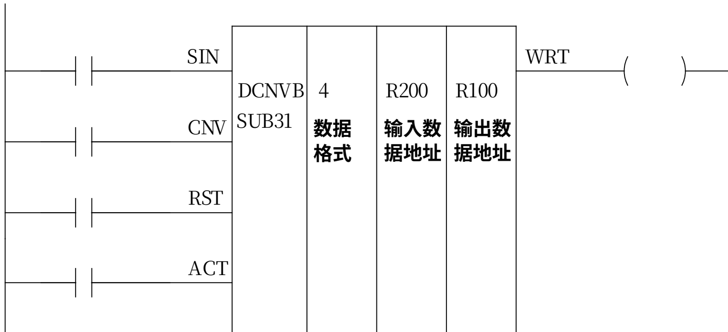


图 3-24　DCNVB 指令的编程格式

指令的控制条件中的 CNV、RST、ACT 含义同 DCNV 指令。

控制条件 SIN 用来选择十进制符号，如 SIN = 1，在十进制转换为二进制时，其输入数据为负数；当输入数据为十进制正数或进行二进制→十进制转换时，均应定义 SIN = 0；因为二进制→十进制转换时，数据的符号在特殊内部继电器 R9000.1 上输出，R9000.1 = 1，代表所转换的数据为负数。

指令参数中的数据格式用来指定数据长度，设定 1、2、4 分别表示 1、2、4 字节；错误输出 WRT 在转换数据格式错误或数据溢出时为“1”。

（3）COD 指令

COD 指令用于任意十进制数据的转换，它可用于诸如 F1 位、F2 位数进给指令的译码，以便将加工程序中的 F0 ~ F9 或 F00 ~ F99 指令转换为 4 位实际进给速度值。指令的编程格式如图 3-25 所示。





图 3-25 COD 指令的编程格式

COD 指令控制条件中的 BYT 为数据表中的数据格式（字长）选择，BYT = 0 为 2 位十进制数 00 ~ 99（BCD 码）；BYT = 1 为 4 位十进制数 0000 ~ 9999。控制条件 RST 为复位输入，RST = 1 时，可将错误输出 WRT 复位；ACT 为数据转换启动输入，ACT = 1 时，启动数据转换。

指令的参数要求如下。

数据表长度：以常数的形式所定义数据表的长度，输入范围为 00 ~ 99。

转换数据输入地址：以存储器地址形式指定的转换数据，转换数据的范围应为 00 ~ 99。

转换数据输出地址：指定保存转换结果的存储器起始地址。

数据表：按照次序排列的转换数据表，最大允许 100 组数据。

错误输出 WRT：数据格式错误或数据溢出时为“1”。

COD 指令的数据转换以“查表”的方式进行，其转换过程如图 3-26 所示。

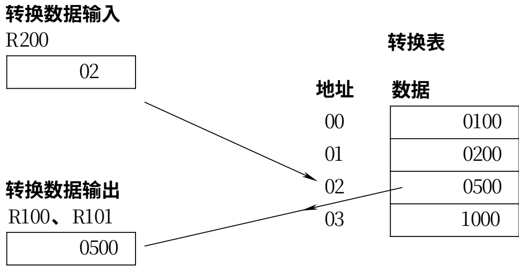


图 3-26 COD 指令的数据转换

例如，当图 3-26 所示的指令用于 F2 位数译码时，假设编程指令 F00、F01、F02、F03 所对应的实际进给速度值分别为 100mm/min、200mm/min、500mm/min、1000mm/min，则存储器 R200 的内容应为 CNC 输出到 PMC 的 F2 位数代码；而数据表中则应存储 F2 位数代码所对应的实际进给速度值 100mm/min、200mm/min、500mm/min、1000mm/min。这样，如果 R200 为 02（F2 位数代码 F02），由于数据表中存储的第 3 个数据（地址 02）为 0500，因此，转换结果存储器 R100、R101 的内容将为 0500；如果 R200 为 03（F2 位数代码 F03），则 R100、R101 的内容将为 1000；故可将编程中的 F2 位进给速度指令 F02、F03 转换为实际进给速度 500mm/min、1000mm/min。

（4）CODB 指令

CODB 指令用于任意二进制数据转换，其作用和指令 COD 类似，指令的编程格式如图 3-27 所示。

CODB 指令的转换数据均以二进制格式存储，数据表的长度可达 256 组数据。CODB 指令的数据表数据格式需要通过指令中的数据格式参数定义，数据表中的数据格式（长度）设定值可为 1、2、4，以定义数据表数据为 1、2、4 字节二进制数。CODB 指令常用于进给、主轴倍率开关的数据转换，指令的使用实例可参见 4.5 节。



图 3-27　CODB 指令的编程格式

4. 数据传送指令

数据传送指令包括常数传送和存储器传送两类，常数传送指令有十进制常数传送 NUME 和二进制常数传送 NUMEB 两条；存储器传送指令有字节、字、双字和多字节传送 4 种。

（1） NUME 指令

NUME 指令在 FANUC 资料中称常数定义指令，该指令用于十进制常数传送，它可将常数 00 ~ 99（1 字节）或 0000 ~ 9999（2 字节）传送到指定的存储器中。指令的编程格式如图 3-28 所示。

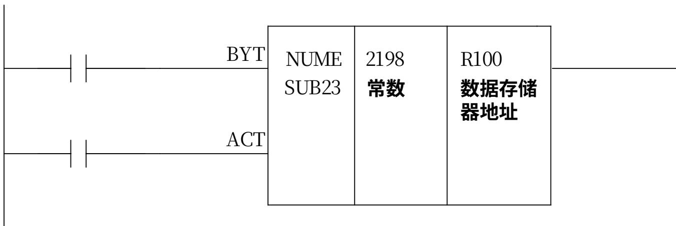


图 3-28　NUME 指令的编程格式

指令控制条件中的 BYT 用来定义常数的格式（字长），BYT = 0 为 2 位十进制数 00 ~ 99（BCD 码）；BYT = 1 为 4 位十进制数 0000 ~ 9999。ACT 为指令执行启动信号，ACT = 1 时执行传送操作。数据存储器地址用来指令传送目标位置。

（2） NUMEB 指令

NUMEB 指令用于二进制常数传送，它可将 1 字节、2 字节、4 字节的十进制常数转换为二进制，并传送到指定的存储器中。指令的编程格式如图 3-29 所示。

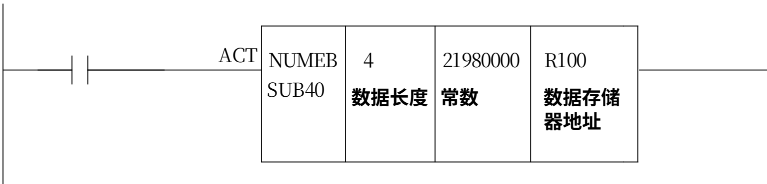


图 3-29　NUMEB 指令的编程格式

指令参数中的数据长度用来定义常数的字长，输入值 1、2、4 代表 1 字节、2 字节、4 字节。需要传送的常数为十进制，它在传送时可自动转换为二进制，并保存到指定的数据存储器上。

（3） MOVB、MOVW、MOVD 指令

MOVB、MOVW、MOVD 指令用于字节、字、双字传送，它可将 1 字节、2 字节、4 字节的数据从源存储器传送到目标存储器中。指令的编程格式如图 3-30 所示。

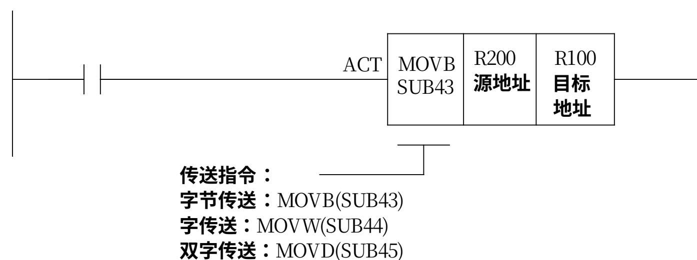


图 3-30　MOVB、MOVW、MOVD 指令的编程格式

（4）MOVN 指令

MOVN 指令用于多字节传送，它可一次性将最大 200 字节的连续数据从一个存储器区传送到另一个存储器区，指令作用与 MOVB 相同，编程格式如图 3-31 所示。指令中的数据长度参数用来定义传送数据长度，输入范围为 1～200。

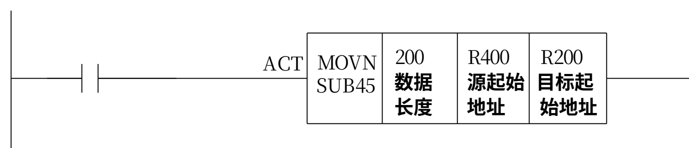


图 3-31　MOVN 指令的编程格式

5. 数据判别指令

数据判别指令为数据比较指令的扩展，它包括二进制、带符号数据的等于（EQ）、不等于（NE）、大于（GT）、小于（LT）、大于等于（GE）、小于等于（LE）等大小判别和范围判别（RNG）两类，每类指令又分字节、字、双字 3 条，指令代码最后字符为数据长度代码，B 代表 1 字节、W 代表 2 字节、D 代表 4 字节，例如，EQB 为 1 字节、EQW 为 2 字节、EQD 为 4 字节二进制数的等于判别等。指令编程要求和功能如下。

（1）大小判别指令

数据大小判别指令可用于 1 字节、2 字节或 4 字节二进制数的等于（EQ）、不等于（NE）、大于（GT）、小于（LT）、大于等于（GE）、小于等于（LE）判别，数据大小判别指令除了指令代码和 SUB 号不同外，其指令格式、控制条件、参数等内容均相同。指令的编程格式如图 3-32 所示。

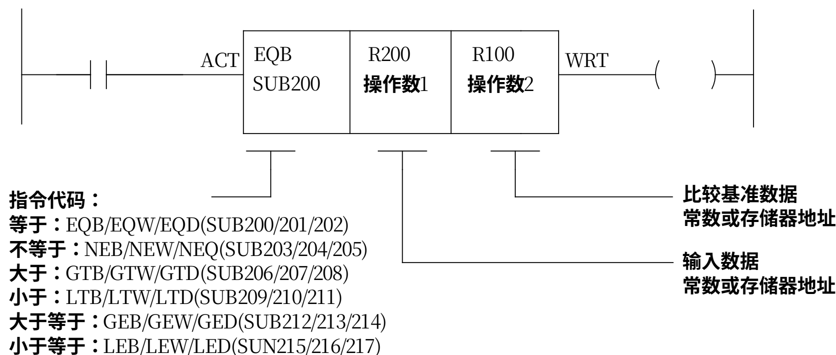


图 3-32　大小判别指令的编程格式

大小判别指令在 ACT 为 1 时启动，如果输入数据等于（EQ）或不等于（NE）、大于（GT）、小于（LT）、大于等于（GE）、小于等于（LE）基准数据，其结果输出 WRT 为“1”，否则，WRT 为 0。

（2）范围判别指令

数据范围判别指令可用于 1 字节、2 字节或 4 字节二进制数的范围判别，指令代码最后的字符同样是数据长度的代码，B 代表字节、W 代表字、D 代表双字。

数据范围判别指令除了指令代码和 SUB 号不同外，其他的指令格式、控制条件、参数等内容均相同。指令的编程格式如图 3-33 所示。

数据范围判别指令在 ACT 为 1 时启动，如果输入数据处于操作数 1 ~ 操作数 2 的范围之内，输出 WRT 为“1”，否则，WRT 为 0。

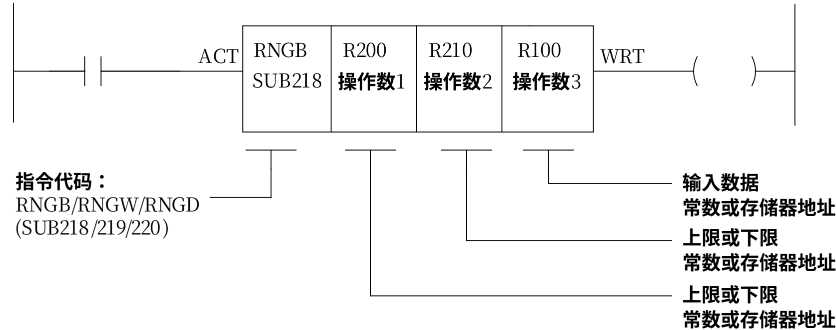


图 3-33　范围判别指令的编程格式

3.4　逻辑和算术运算指令

3.4.1　逻辑运算指令

1. 边沿检测指令

边沿检测指令 DIFU 和 DIFD 可用于信号的上升或下降沿检测，指令的编程格式和功能如下。

（1）DIFU 指令

DIFU 指令用于上升沿检测，检测信号的宽度为 1 个 PLC 循环周期。指令的编程格式如图 3-34 所示。

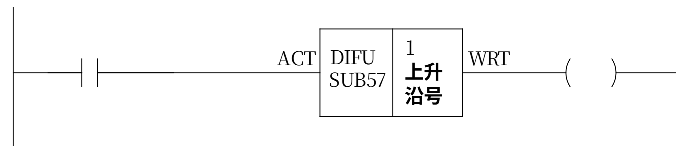


图 3-34　DIFU 指令的编程格式

指令中的 ACT 为输入信号，WRT 为上升沿输出，指令参数中的上升沿号是以常数定义的边沿编号，不同 ACT 输入触点的边沿应使用不同的编号，参数的输入范围为 1 ~ 256。

（2） DIFD 指令

DIFD 指令用于下降沿检测，指令作用和参数定义方法同 DIFU，指令的编程格式如图 3-35 所示。

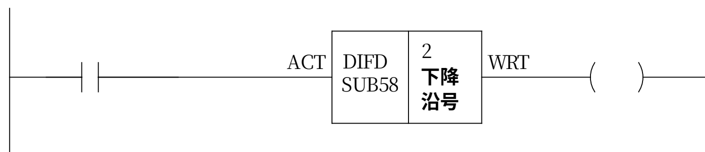


图 3-35　DIFD 指令的编程格式

2. 字节、字、双字逻辑运算指令

（1） MOVE 指令

MOVE 指令用于字节“与”运算，指令同时具有传送的功能，其编程格式如图 3-36 所示。

执行 MOVE 指令可将输入数据地址中所定义的 1 字节数据的高 4 位和低 4 位，分别和指令参数中的高 4 位操作数、低 4 位操作数，逐位进行逻辑“与”运算，运算结果输出到结果数据存储器中。例如，对于图 3-36 中的指令，当 R400 = 1110 0101 时，通过与操作数“1001 1111”的“与”运算，在结果寄存器 R200 中得到的结果为 1000 0101。

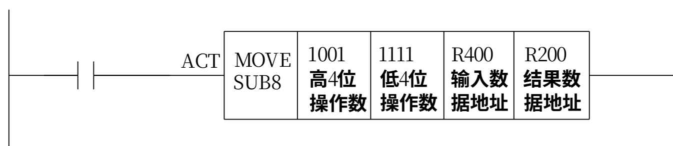


图 3-36　MOVE 指令的编程格式

（2） MOVOR 指令

MOVOR 指令用于字节“或”运算，指令同样具有传送的功能，其编程格式如图 3-37 所示。



图 3-37　MOVOR 指令的编程格式

执行指令可将输入数据地址中的 1 字节数据和操作数地址中所定义的数据，逐位进行逻辑“或”运算，运算结果输出到结果数据存储器中。例如，对于图 3-37 中的指令，当 R400 = 1110 0101、R100 = 1001 1111 时，通过位“或”运算，在结果寄存器 R200 中得到的结果为 1111 1111。

（3） AND 指令

AND 指令可用于字节、字、双字的“与”运算，指令同时具有传送的功能，其编程格式如图 3-38 所示。

执行指令可将输入数据地址中的 1 ~4 字节数据和指令参数的操作数（存储器地址或常数），逐位进行逻辑“与”运算，运算结果输出到结果数据存储器中。指令参数中的操作数

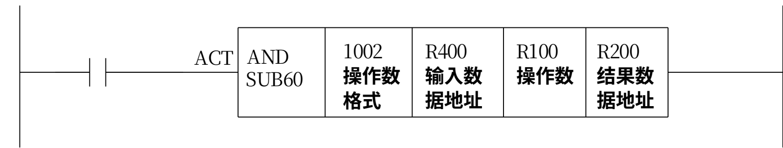


图 3-38 AND 指令的编程格式

格式以 4 位十进制数的形式定义，前 2 位用来指定操作数的形式，00 为常数，10 为存储器地址；后 2 位用来定义操作数长度，01、02、04 分别代表 1 字节、2 字节、4 字节。

（4） OR 指令

OR 指令用于字节、字、双字的“或”运算，除了运算方式不同外，指令的其他含义与 AND 相同，其编程格式如图 3-39 所示。

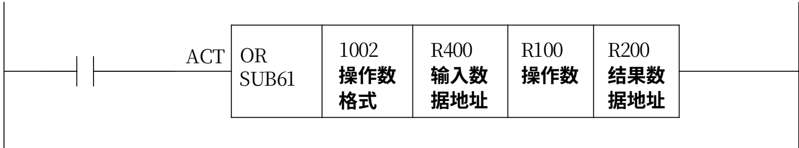


图 3-39 OR 指令的编程格式

（5） EOR 指令

EOR 指令用于字节、字、双字的“异或”运算，除了运算方式不同外，指令的其他含义与 AND 指令相同，编程格式如图 3-40 所示。

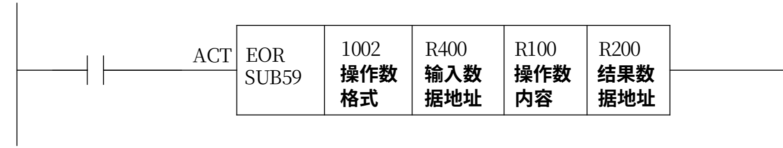


图 3-40 EOR 指令的编程格式

（6） NOT 指令

NOT 指令用于字节、字、双字的“非”运算，指令的编程格式如图 3-41 所示。

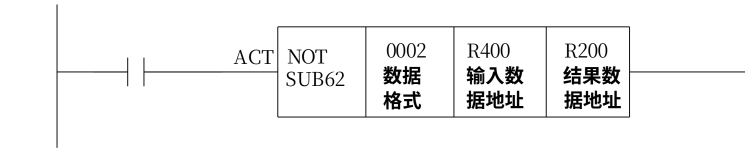


图 3-41 NOT 指令的编程格式

执行指令可将输入数据地址中的 1 ~4 字节内容逐位“取反”后，输出到结果数据存储器中。指令参数中的数据格式为 4 位十进制数，前 2 位规定为 00；后 2 位用来定义输入数据长度，01、02、04 分别代表 1 字节、2 字节、4 字节。

3.4.2 算术运算指令

FS-0iD 的 PMC 运算指令包括十进制四则运算、二进制四则运算和移位运算三类。

1. 十进制四则运算

十进制四则运算指令可以用于 2 位或 4 位十进制数（BCD 码）的加（ADD）、减（SUB）、乘（MUL）、除（DIV）运算，四则运算指令除了指令代码和 SUB 号不同外，其指令格式、控制条件、参数等内容均相同。指令的编程格式如图 3-42 所示。

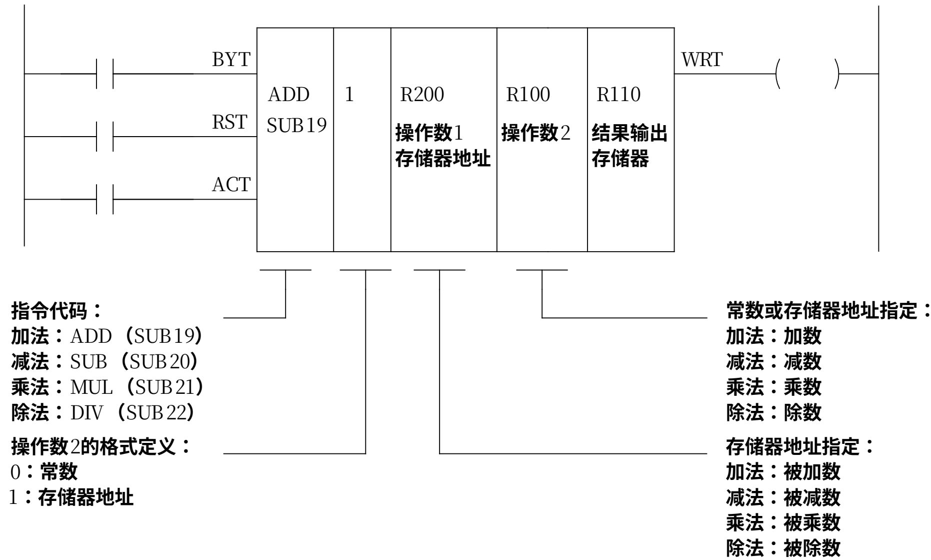


图 3-42　十进制四则运算指令的编程格式

指令控制条件 BYT 用来定义数据格式（字长），BYT＝0 为 2 位十进制数 00～99；BYT＝1 为 4 位十进制数 0000～9999。

控制条件 RST 为复位输入，RST＝1 时可将错误输出 WRT 复位；ACT 为指令执行启动信号，ACT＝1 时执行四则运算。

WRT 为指令执行错误输出。

2. 二进制四则运算

二进制四则运算指令可用于 1 字节、2 字节、4 字节二进制数的加（ADDB）、减（SUBB）、乘（MULB）、除（DIVB）运算，四则运算指令除了指令代码和 SUB 号外，其格式、控制条件、参数等均一致，指令编程格式如图 3-43 所示。

指令控制条件中的 RST 为复位输入，RST＝1 时可将错误输出 WRT 复位；ACT 为指令执行启动信号，ACT＝1 时执行运算。

四则运算的状态还可通过特殊内部继电器 R9000～R9005 检查，R9000.0＝1 代表结果为“0”；R9000.1＝1 代表结果为负；执行除法运算时，指令中的结果存储器用来存储商，除法的余数保存在内部特殊继电器 R9002～R9005 中。

3. 移位指令

二进制移位指令 SFT 相当于二进制数的乘 2 或除 2 运算，移位指令可将指定存储器中的内容左移或右移 1 位，指令的编程格式如图 3-44 所示。指令的控制条件中的 RST 为复位输入，RST＝1 时可将结果输出 WRT 复位；ACT 为移位启动信号，应使用边沿信号，ACT 的上升沿启动移位操作。控制条件 DIR、CONT 的作用如下。

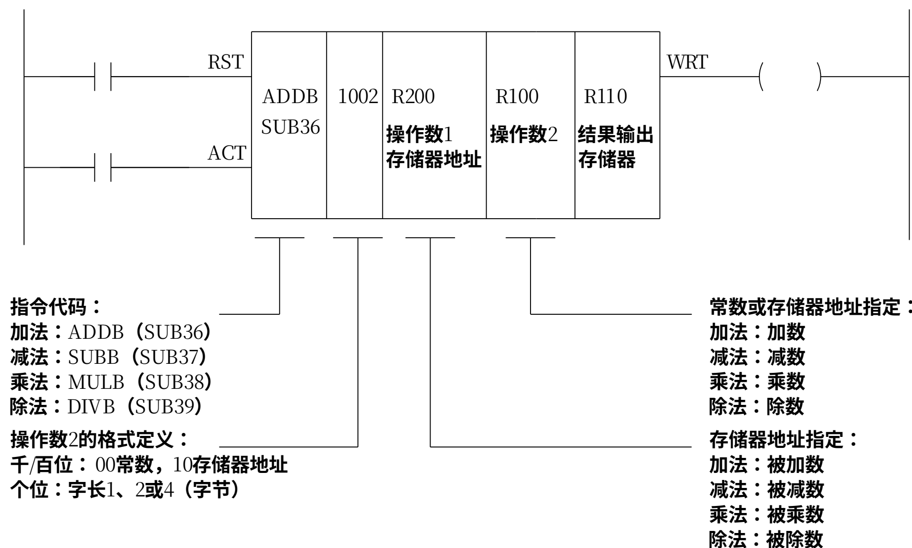


图 3-43　二进制四则运算指令的编程格式

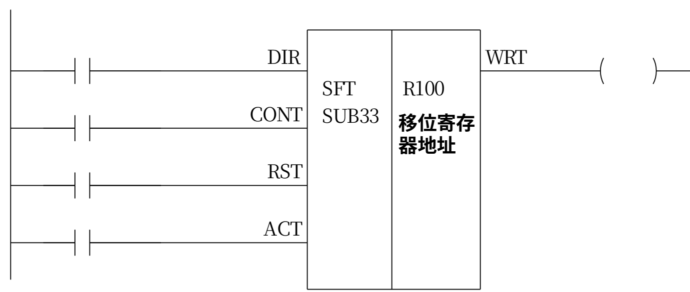


图 3-44　SFT 指令的编程格式

DIR：移位方向定义。DIR = 0 为左移；DIR = 1 为右移。

CONT：移位方式定义。CONT = 0 为正常移位，CONT = 1 为保留 1 的移位方式，两者区别如下。

正常移位的动作如图 3-45 所示。移位时所有数据可依次向左或向右移 1 位；被移出的位输出到结果继电器中；被移走的位补 0。例如，数据 1100 0011 0101 1010 左移 1 位后的状态为 1000 0110 1011 0100，结果继电器上的状态输出为“1”；右移 1 位后的状态为 0110 0001 1010 1101，结果继电器中的状态输出“0”。

保留 1 的移位方式，同样可以将所有数据向左或向右移 1 位，但原来的“1”状态被保



图 3-45　CONT = 0 时的正常移位

留；数据被移走的位补“0”；被移出的位输出到结果继电器中。例如，对于数据 1100 0011 0101 1010 左移 1 位后的状态为 1100 0111 1111 1110，结果继电器中输出“1”；右移 1 位后的状态为 1110 0011 1111 1111，结果继电器中输出“0”。

3.5 子程序与程序跳转

3.5.1 子程序设计

1. 主程序和 END 指令

FANUC 系统的 PMC 程序采用了分时管理线性化结构，其用户主程序通常分为图 3-46 所示的高速扫描和普通扫描两部分。对于只使用 1 级高速扫描的 PMC 程序，程序结束指令 END1 代表高速扫描程序结束，END2 代表普通扫描程序结束。

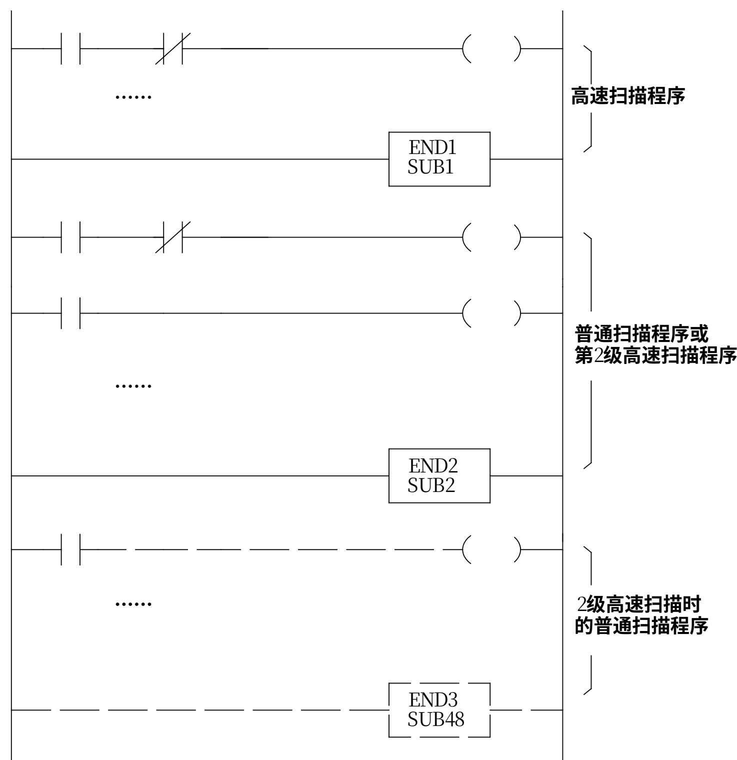


图 3-46　主程序结构

如果 PMC 使用了 2 级高速扫描程序，则第 1、2 级高速程序的结束指令分别为 END1、END2，普通程序结束指令为 END3（SUB48）。如果不使用高速扫描程序，其高速程序结束指令 END1（END2）也需要编制，指令应编制在程序的起始位置。

2. 子程序和 SPE 指令

PMC 程序也可采用主、子程序结构。PMC 子程序以图 3-47a 所示的 SP（SUB71）指令作为开始标记；以图 3-47b 所示的 SPE（SUB72）指令作为结束标记。

不同的子程序利用子程序号 P 进行区分，子程序号 P 需要在子程序开始标记指令 SP 中

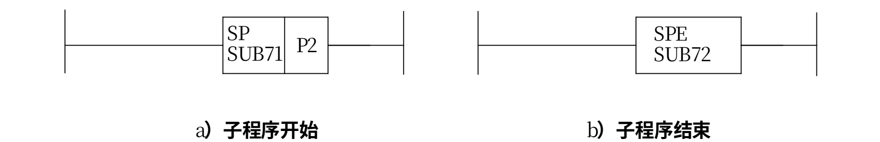


图 3-47　子程序定义

定义，但是，所有子程序的结束指令都为 SPE（SUB72）。由于不同规格的 PMC，可使用的子程序数量有所不同，因此，其子程序号的允许范围也有区别。例如，当 FS-0iD 选配 PMC/L 时，其子程序号的范围只能为 P1～P512，而选择 0iD-PMC 时，其子程序号的范围可以为 P1～P5000 等。

采用主/子程序结构的 PMC 程序如图 3-48 所示，PMC 程序从上到下的排列次序应依次

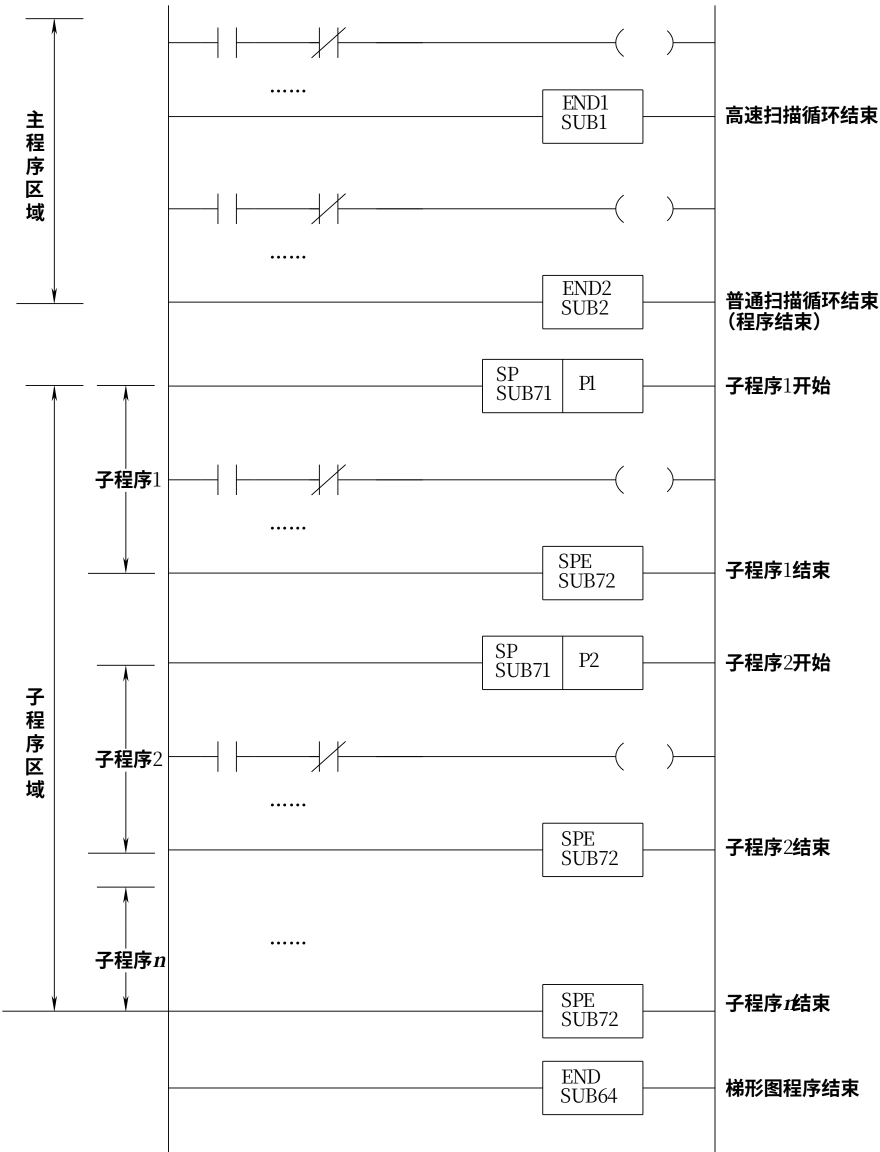


图 3-48　主/子程序结构

为高速扫描程序、普通扫描程序、子程序，所有子程序都需要统一放在主程序之后，在全部子程序结束处，需要用 END（SUB64）指令结束梯形图程序。

3. 子程序调用和返回

子程序可通过主程序中的调用指令调用，子程序调用可分条件调用和无条件调用两种，指令的编程格式如图 3-49 所示。条件调用指令只有在 ACT 信号为“1”时才能调用子程序；无条件调用指令可直接调用子程序。

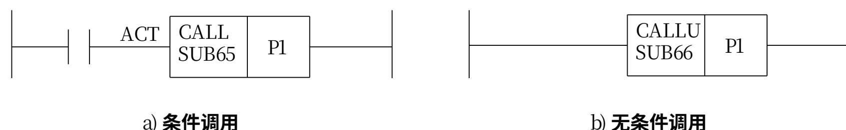


图 3-49 子程序调用

在正常情况下，子程序执行完成后将通过结束指令 SPE 返回到主程序，并继续执行调用指令后的主程序。但是，如果需要，也可通过 JMPC（SUB73）指令，在子程序执行结束后返回到主程序的特定位置。JMPC 返回的位置应通过 LBL（SUB69）及参数 L＊进行标记，指令编程格式如图 3-50 所示。

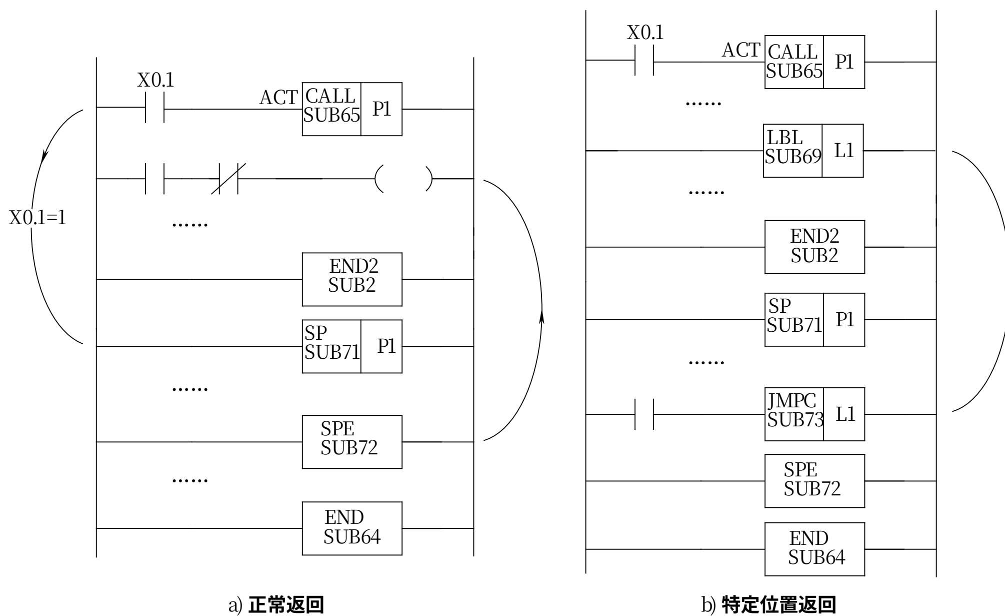


图 3-50 子程序返回

PMC 子程序设计需要注意以下问题。

1）返回指令 JMPC 的目标位置不可位于高速扫描中，或子程序调用指令（CALL/CALLU）之前；也不能位于后述的公共线控制区域内。

2）返回指令 JMPC 的返回目标位置标记 LBL，可以和其他 JPMB 指令共用，但 LBL 指令的编号（L1～L999）不可重复。

3）子程序调用 CALL、CALLU 指令可与后述的程序跳过指令 JPM（SUB10）、标记跳转指令 JPMB（SUB68）同时使用。

3.5.2　跳转程序设计

在线性化结构的 PMC 程序中，为了改变程序的执行次序，可采用公共线控制和跳转两种方式。

1. 公共线控制

FANUC 系统的 PMC 公共线控制指令有 COM（SUB9）、COME（SUB29）两条，COM 为公共线控制开始，COME 为公共线控制结束，指令的编程格式如图 3-51 所示。

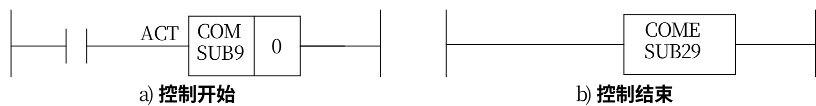


图 3-51　公共线控制指令

位于公共线控制开始和结束区域内的程序，在 COM 指令输入 ACT＝1 时将进行正常的处理；当如果 ACT＝0，则该范围内的全部结果输出将为 0。因此，这种控制方式的实质，只相当于对该区域的程序，增加了一个图 3-52 所示的共同控制触点。

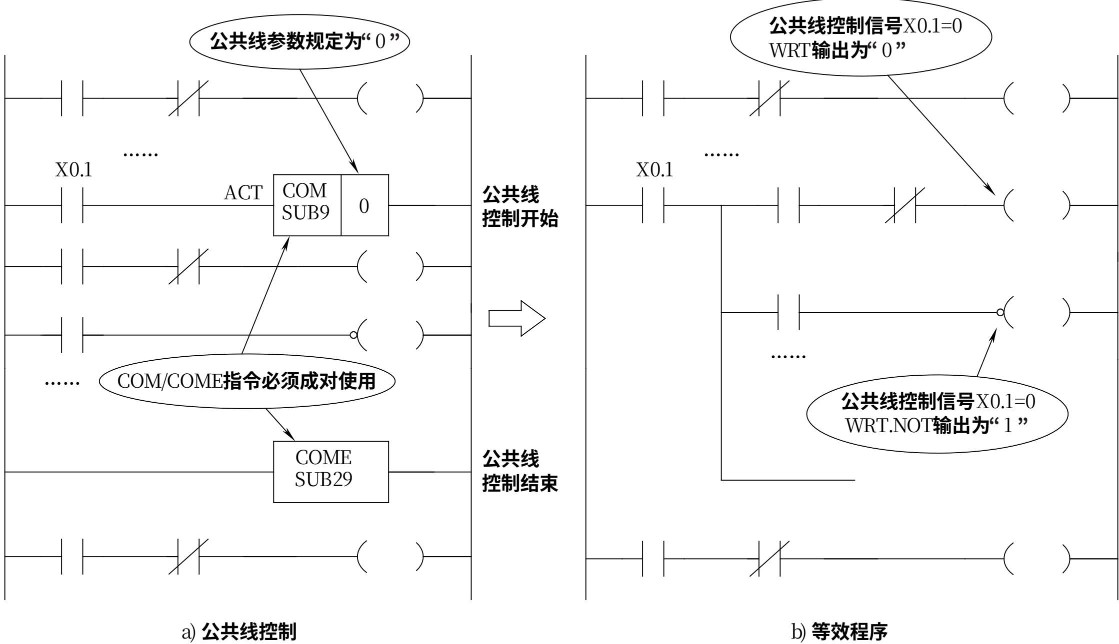


图 3-52　公共线控制程序

使用公共线控制时必须注意几点。

1）公共线控制开始指令 COM（SUB9）和结束指令 COME（SUB29）必须成对使用。

2）公共线开始指令 COM 的参数（公共线编号）必须为“0”。

3）在公共线控制区域内不能再使用公共线控制指令（嵌套）。

4）即使在公共线控制输入为 0 时，CPU 同样需要进行公共线区域内的程序处理，但由于程序前增加了状态为 0 的常开触点，因此，区域内所有以 WRT 指令输出的线圈状态都为 0；但以 WRT. NOT 输出的线圈状态将为 1，这一点在编程时需要特别引起注意。

5）公共线控制区域和下述的程序跳过、跳转区域不允许存在交叉，有关内容可参见后述的图 3-55。

2. 程序跳过

通过程序跳过指令 JMP，可跳过部分程序，但 JMP 指令不具备转移功能，即不能改变 PMC 程序的执行次序，被跳过的程序以指令 JMPE（SUB30）结束，指令的编程格式如图 3-53所示。

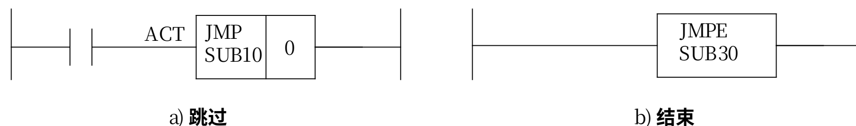


图 3-53　程序跳过指令

位于 JMP ~ JMPE 区域内的程序，在指令 JMP 的控制条件 ACT = 1 时将被跳过，如 ACT = 0，则正常处理 JMP ~ JMPE 间的程序。

程序跳过指令与公共线控制有所不同，当程序被跳过时，CPU 将不再对 JMP ~ JMPE 区域内的程序进行处理，因此，直到程序恢复处理前，其输出线圈的状态将保持不变。

程序跳过指令编程时需要注意图 3-54 所示的问题。

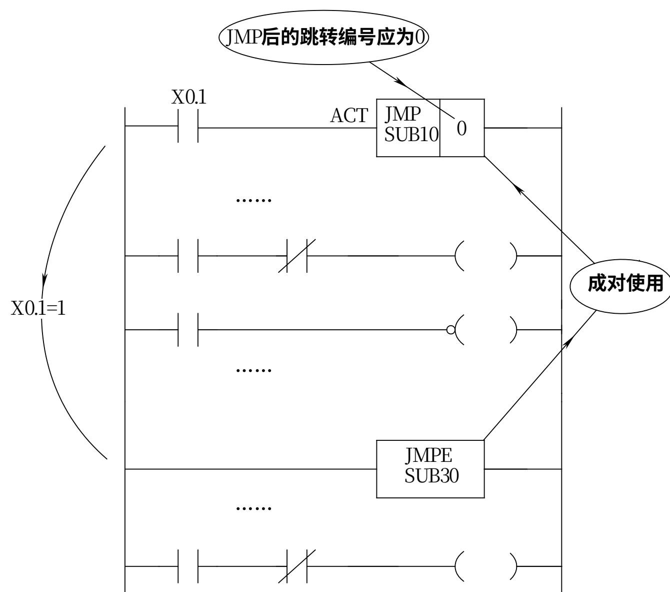


图 3-54　跳过指令的编程

1）程序跳过开始指令 JMP 和结束指令 JMPE 必须成对使用。

2）程序跳过指令 JMP 的参数（跳转编号）必须为“0”。

3）程序跳过指令不可使用嵌套。

4）程序跳过区域不能和公共线控制区域有图 3-55 所示的交叉，即既不允许程序从公共线控制区域外，向公共线控制区域内跳转；也不允许程序从公共线控制区域内，向公共线控制区域外跳转。

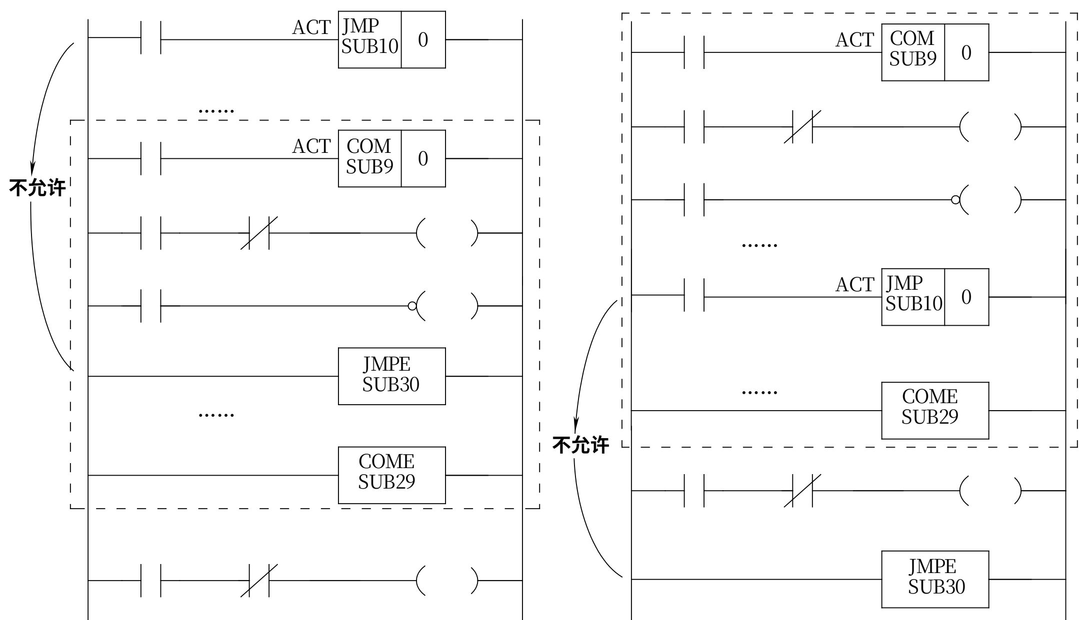
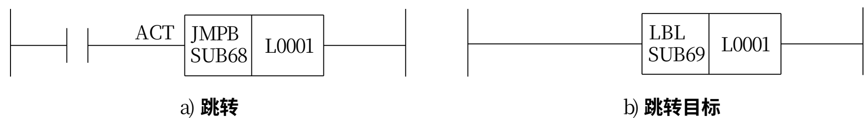


图 3-55　公共线控制和程序跳过、跳转区域不能交叉

3. 标记跳转

标记跳转指令同时具有跳过和转移功能，它可改变程序的执行次序。标记跳转指令有跳转 JMPB（SUB68）和跳转目标标记 LBL（SUB69）两条，跳转目标位置用参数 L 标记，允许范围为 L1 ~ L9999。指令的编程格式如图 3-56 所示。



a) 跳转　　b) 跳转目标

图 3-56　标记跳转指令

标记跳转指令在指令 JMPB 的控制条件 ACT = 1 时执行，程序将直接跳到 LBL 指定的标记处继续；如 ACT = 0，则正常执行下面的程序。

标记跳转指令生效时，PMC 将无条件跳到指定位置继续执行，它不仅可实现程序的转移，且还可以使用嵌套。

JMPB 指令编程需要注意以下问题。

1）不同的标记跳转指令 JPMB（SUB68）的目标位置可相同，即程序中允许使用图 3-57a所示的公用跳转目标标记指令 LBL（SUB68）；但是跳转目标标记 LBL 指令的编号 L 不能重复或省略。

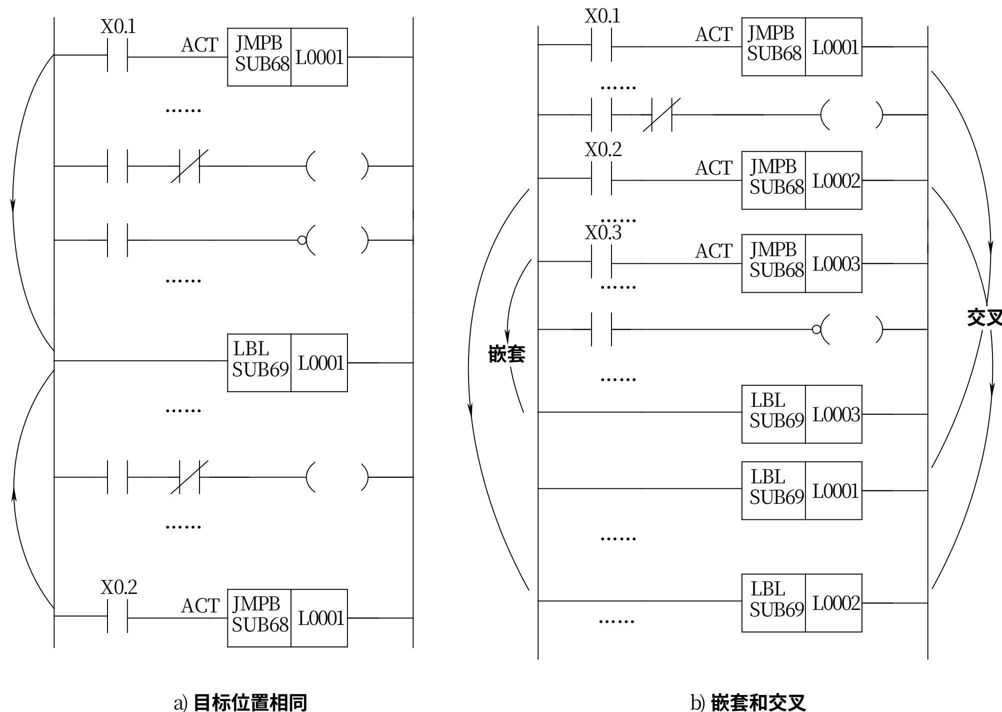
2）程序跳转的方向可改变，它既可由上向下跳转，也可由下向上跳转，但设计时需要防止程序陷入死循环。

3）执行标记跳转后，跳转区域内的程序将不再进行处理，因此，跳转区域的输出线圈在程序恢复处理前，其状态可保持不变。

4）跳转区域不能和公共线控制区域交叉，也不可从高速扫描程序跳转到普通扫描程

序，反之亦然。如果在子程序中使用了标记跳转指令时，跳转只能在本子程序的范围进行，即不能从一个子程序跳转到另一子程序。

5）在同一程序块中，标记跳转指令不仅可使用嵌套，也可相互存在图 3-57b 所示的交叉。



a) 目标位置相同　　　　b) 嵌套和交叉

图 3-57　标记跳转指令

3.6　数据表操作指令

3.6.1　数据检索

1. 数据的存储

PMC 的数据寄存器可用来存储 PMC 程序所需要的用户数据，用户数据一般以表格的形式保存，故又称数据表。

用户数据可以用图 3-58 所示的二进制，或 2 位、4 位、8 位十进制（1 字节、2 字节、4 字节 BCD 码）格式，进行分组保存。数据的格式需要通过 CNC 的数据表控制参数进行定义，控制参数不能通过 PMC 程序改变，它需要通过 CNC 的 PMC 参数设定操作，在数据表控制参数（G. CONT）设定页面上设定，有关内容可参见本书作者编著的《FANUC-0iD 编程与操作》一书（机械工业出版社，2013 年 5 月）。

数据表操作指令多用于加工中心的随机换刀控制，指令使用实例可参见 6. 3 节。

2. 数据的直接读写

数据表中的存储内容（数据）既可通过 CNC 的操作进行设定，也可利用 PMC 程序读

组号	存储器地址	数据
1	D000	1000 0001
（二进制格式）	D001	1001 1101
	…	…
	D019	1000 0001
2	D020	12
（2位十进制格式）	D021	34
	…	…
	D099	88
3	D100	1234
（4位十进制格式）	D102	5678
	…	…
	D198	8899
4	D200	1234 5678
（8位十进制格式）	D204	1025 7432
	…	…
	D396	9999 5678
5	D400	…
	…	…
	…	…

图 3-58　PMC 数据表的格式

写。通过 PMC 程序进行数据读写时，可采用直接读写和表格检索、传送两种方式。

采用直接读写方式时，对于以二进制格式存储的数据，在 PMC 程序中可通过图 3-59a 所示的梯形图，以触点的形式来读取其状态，或以线圈的形式写入其状态；对于以字节、字或双字形式存储的十进制或十六进制数据，则可通过图 3-59b 所示的数据传送指令，对其进行读写操作。

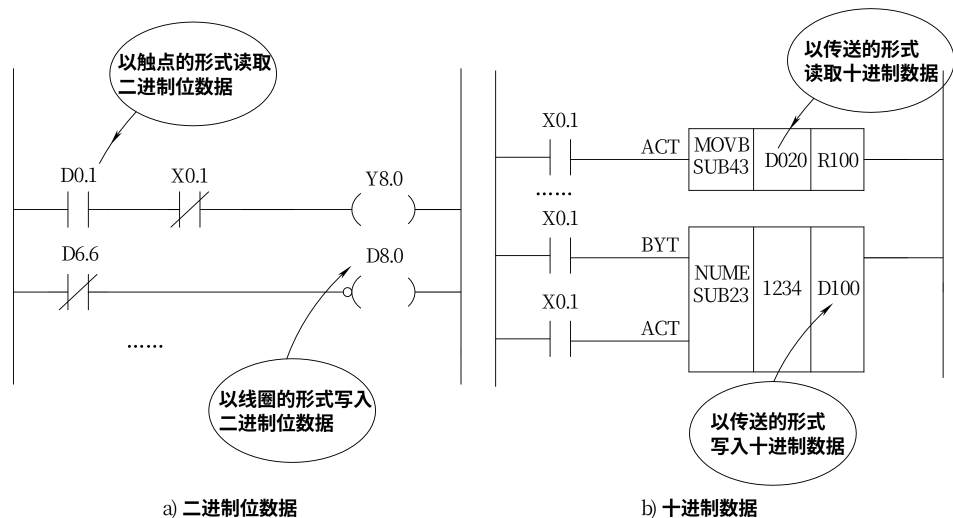


图 3-59　数据存储器的数据直接读写

3. 数据检索

数据表中的存储内容（数据）也可用数据表的形式进行检索和读写。进行数据表操作时，存储器中的每一组数据都被视作一个数据表，每组数据的存储器起始地址称为表头地

址。数据表中的数据按序号排列，表头的数据存储器序号为0；例如，对于有（$n+1$）个数据的数据表，其数据序号将为0～n等。

利用PMC的数据检索功能指令，可搜索数据表中是否存在某一数据，同时可输出这一数据在数据表中所存放的位置，指令的功能如图3-60所示。

在数据检索时，首先需要在检索指令中定义“表头地址”参数，以便确定数据存储器的起始地址；例如，对于图3-60中数据表3，其表头地址为D100等。此外，还在检索指令中定义“数据表长度”参数，以便确定数据的检索范围；例如，对于图3-60中数据表3的检索，数据表长度参数应定义为100等。

需要检索的数据存储在检索数据存储器中（图3-60为R200），检索开始后，PMC将数据表内的数据依次与需要检索的数据（图3-60为5678）比较。如果发现有相同内容，则将该数据的序号（图3-60为1）输出到检索结果输出存储器中（图3-60为R100）；如果数据不存在，则通过WRT＝“1”输出错误信号。

PMC的十进制数据可通过DSCH（SUB17）指令检索；二进制数据可通过B（SUB34）指令检索，指令的编程格式如下文所述。

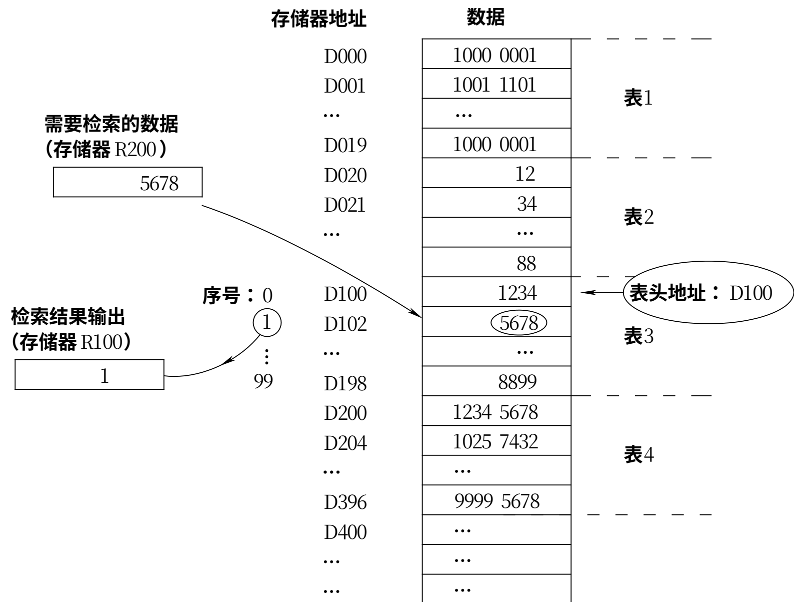


图3-60　数据检索指令的功能

4. 十进制数据检索

十进制数据检索的PMC指令为DSCH（SUB17），该指令的全部参数均以十进制的形式指定，指令的编程格式如图3-61所示。

数据检索指令DSCH（SUB17）的控制条件如下。

BYT：数据格式选择。BYT＝0检索数据为2位十进制数，BYT＝1为4位十进制数。

RST：复位输入。RST＝1时清除错误输出WRT。

ACT：数据检索启动输入。

指令需要定义的参数如下。

数据表长度：以常数形式定义的数据表长度。

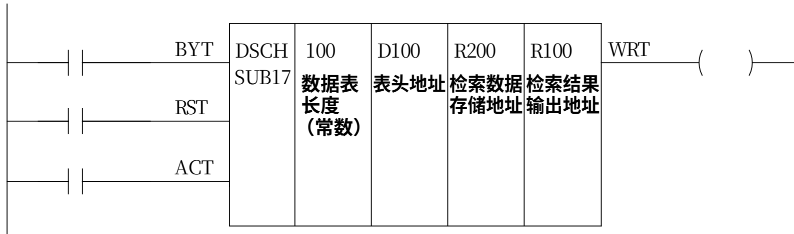


图 3-61　DSCH 指令的编程格式

表头地址：指定数据表的数据存储器起始地址。

检索数据存储地址：指定需要检索的数据在 PMC 中的存储器地址。

检索结果输出地址：如检索数据在数据表中存在，则在该存储器将输出指定数据的序号。如检索数据在数据表中不存在，则检索错误结果输出 WRT 为 1，否则 WRT 为 0。

5. 二进制数据检索

二进制数据检索指令 DSCHB（SUB34）的功能与十进制检索指令 DSCH 类似，指令的编程格式如图 3-62 所示。指令中的“数据格式”参数用来定义检索数据的长度，输入 1、2、4 分别代表 1 字节、2 字节、4 字节。

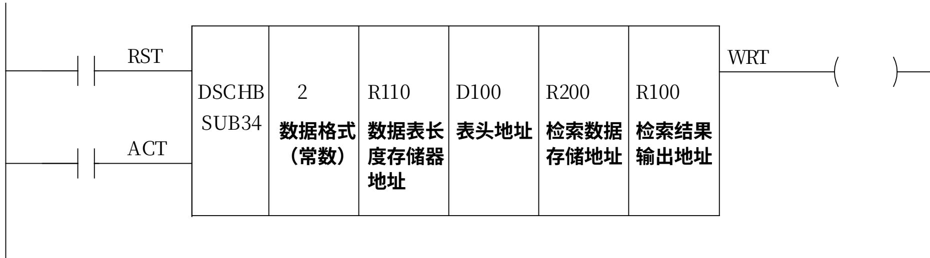


图 3-62　DSCHB 指令的编程格式

DSCHB 指令和 DSCH 的编程要求有如下不同。

1）DSCHB 指令中的全部数据均以二进制形式存储；例如，当数据格式定义为 1 字节、2字节、4 字节时，数据表的长度、序号和数值的范围分别为 1 ~ 255、1 ~ 32767 和 1 ~99999999。

2）数据表长度以存储器地址的形式定义，故在 PMC 程序中可根据要求改变。

3.6.2　数据传送

通过数据表的数据传送指令，可将指定存储器中的内容写入到数据表，或将数据表中的内容读入到指定存储器中。数据表数据传送指令有十进制传送 XMOV（SUB18）和二进制传送 XMOVB（SUB35）两种，指令的作用与功能分别如下。

1. 十进制数据传送

十进制数据传送指令 XMOV 的全部参数均以十进制的形式指定，指令的编程格式如图 3-63 所示。

指令的控制条件如下。



图 3-63　XMOV 指令的编程格式

BYT：数据格式选择。BYT =0 为传送数据为 2 位十进制数，BYT =1 为 4 位十进制数。

RW：读写操作选择。RW =0 时，从数据表读取数据；RW =1 时，向数据表写入数据。

RST：复位输入。RST =1 时，清除错误输出 WRT。

ACT：数据传送启动信号。

指令需要定义的参数如下。

数据表长度：以常数的形式定义的数据表长度。

表头地址：指定需要进行传送操作的数据存储器起始地址。

数据存储地址：执行数据读取操作时，该存储器用于存储读出的数据；执行数据写入操作时，该存储器用于存储需要写入的数据。

序号存储地址：数据表中需要进行读写操作的数据应以“序号”的形式指定，数据序号以存储器地址的方式给定。

如果指令中的参数定义错误或执行错误，结果输出 WRT 为 1；否则 WRT 为 0。

2. 二进制数据传送

二进制数据传送指令 XMOVB（SUB35）的作用和 XMOV 相同，指令的编程格式如图 3-64 所示，指令中的“数据格式”参数用来定义传送数据的长度，输入 1、2、4 分别代表 1 字节、2 字节、4 字节。



图 3-64　XMOVB 指令的编程格式

指令 XMOVB 和 XMOV 的编程要求有如下区别。

1）XMOVB 指令中的数据均以二进制形式存储，当数据格式定义为 1 字节、2 字节、4 字节时，其数据表的长度、序号和数值的范围分别为 1 ~255、1 ~32767 和 1 ~99999999。

2）数据表长度以存储器地址的形式定义，故在 PMC 程序中可根据要求改变。

3.7　其他功能指令

3.7.1　文本显示

1. 基本说明

通过 PMC 程序，FANUC 系统可在 CNC 的 LCD 上显示 PMC 程序指定的文本信息。文本信息可作为机床的操作提示或报警，提示操作者进行正确的操作与维修。

为了在 CNC 的 LCD 上显示 PMC 的文本信息，可事先利用 CNC 上的 PMC 文本编辑功能，在图 3-65 所示的 PMC 文本编辑页面上输入文本信息；然后在 PMC 程序中，通过 DISP 指令，使能 CNC 的 PMC 文本显示功能；同时，利用文本显示请求位信号 A0 ~ A249，选择需要显示的文本；所选择的文本便可在 CNC 的 LCD 上显示。需要显示的 PMC 文本也可在 DISP 指令使能文本显示功能后，通过 CNC 的外部数据输入指令 EXIN（SUB42），通过 PMC 程序直接向 CNC 发送。

例如，对于图 3-65 的 PMC 文本文件，在 DISP 指令使能 PMC 文本显示功能后，如显示请求位 A00.0 为 1，就可在 CNC 的 LCD 显示“2000 MACHINE EMERGENCY STOP”报警；如显示请求位 A00.1 为 1，则显示“2001 COOLANT MOTOR OVEDLOAD”报警等。

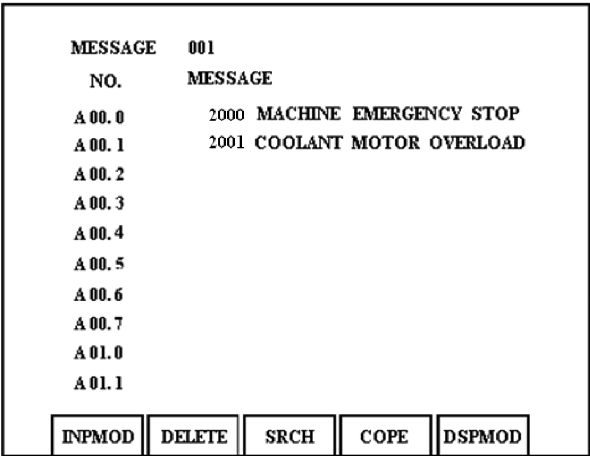


图 3-65　CNC 文本信息编辑页面

PMC 文本显示的容量与 PMC 规格有关，对于具有 250 字节（A0 ~ A249）请求位信号的 CNC，最多可显示 2000 条文本信息。一般而言，每一条显示信息由 4 位报警号和最大 255 个字符组成。

PMC 的文本显示状态可通过文本显示状态指示位 A9000 ~ A9249 进行检查，文本显示状态位只能用来指示文本的当前显示状态，它不可通过 PMC 程序赋值。A9000 ~ A9249 的状态与 A0 ~ A249 一一对应，例如，当 A00.0 为 1、CNC 显示文本“2000 MACHINE EMERGENCY STOP”时，其对应的状态位 A9000.0 便为“1”；如果 A00.0 变为 0，CNC 上的文本显示将被清除、A9000.0 成为“0”。

2. 文本显示指令

文本显示指令 DISPB（SUB41）用来使能 CNC 的文本显示功能，PMC 只有在指令 DISPB 生效时，才能利用文本显示请求位 A000.0 ~ A249.7 显示 PMC 文本。DISPB 指令的编程格式如图 3-66 所示。

当指令中的控制条件 ACT = 1 时，LCD 允许通过显示请求位 A000.0 ~ A249.7 选择、显示文本；如 ACT = 0，即使文本显示请求位的状态为 1，也不能在 LCD 上显示文本信息。指

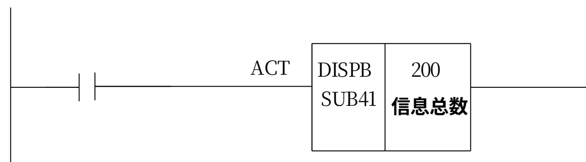


图 3-66　DISPB 指令的编程格式

令参数中的信息总数用来指定 PMC 文本的实际数量，最大允许输入 2000。

3. PMC 文本的编辑

FANUC 系统的 PMC 文本可通过 CNC 的 PMC 信息编辑页面编辑，其操作方法通常如下。

1）利用 MDI 操作面板上的功能键【SYSTEM】，选择系统显示页面。

2）利用软功能键【PMCCNF】，选择 PMC 的配置操作。

3）通过软功能扩展键，显示并选定软功能键【MSSAGE】，CNC 将显示图 3-65 所示的文本信息编辑页面。

4）利用 MDI/LCD 面板输入文本，并用 INPUT 输入。

文本编辑时，可通过软功能键【DELETE】删除，或通过【INPMOD】键选择【INPUT】（输入）、【INSERT】（插入）、【ALTER】（替换）操作，或通过软功能键【COPY】，复制文本。软功能键【DSPMOD】可用来选择文本的语言，如日文等。有关内容可参见本书作者编著的《FANUC-0iD 编程与操作》一书（机械工业出版社，2013 年 5 月）。

4. 文本的程序输入

PMC 文本也可通过 CNC 的外部数据输入功能，从 PMC-CNC 的接口信号 G0000 ~ G0002 由 PMC 向 CNC 发送。CNC 外部数据输入的 PMC 指令为 EXIN（SUB42），指令的编程格式如图 3-67 所示。

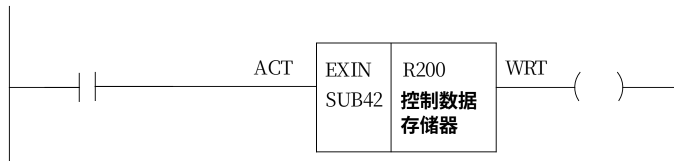


图 3-67　EXIN 指令的编程格式

指令 EXIN 在 ACT = 1 时有效，输入到 CNC 的数据内容通过指令参数中的控制数据存储器定义（图中为 R200），该存储器需要连续 4 字节，参数的定义方式如下。

R200：CNC 数据输入信号地址选择。通过信号 G000 ~ G002 发送时，应设定为“1”。

R201：低 8 位数据 ED0 ~ ED7。

R202：高 8 位数据 ED8 ~ ED15。

R203：数据地址 ESTB、EA6 ~ EA0。地址用来指定 PMC 发送的文本内容，例如，当 ESTB = 1、EA6 ~ EA0 = 1000000 时，数据 ED0 ~ ED11 为二进制机床报警号 0 ~ 999，ED12 ~ ED15 无效；当 ESTB = 1、EA6 ~ EA0 = 1000011 时，数据 ED0 ~ ED15 为文本显示的字符代码等。

利用 CNC 外部数据输入 PMC 文本时，如显示内容为机床报警号，CNC 显示时需要将外部输入的报警号自动加 1000；显示机床操作信息号时，则需要自动加 2000。即 CNC 实际显



示的机床报警号为 1000～1999；操作者信息号为 2000～2099；操作者信息号 100～999 则只显示文本等。

指令中的 WRT 为传送结束输出，当数据传送结束时 WRT = 1；利用这一信号可取消指令的 ACT 信号。

3.7.2　CNC 数据读写

1. 窗口数据读写

在 FANUC 系统中，CNC 和 PMC 间的数据传输操作称为窗口数据读写。利用 PMC 的窗口数据读写指令，可进行 PMC 和 CNC 间的数据直接交换，例如，将 CNC 的刀具补偿值、工件坐标系原点偏置值、进给速度、主轴转速等 CNC 程序数据，直接读入到 PMC；或者，从 PMC 直接写出到 CNC 上。在 PMC 上，将数据从 CNC 传输到 PMC 的操作，称为窗口数据读入；而将数据从 PMC 传输到 CNC 的操作，称为窗口数据写出。

PMC 的窗口数据读入有两种处理方式，一是在同一 PMC 循环内完成全部数据的读入操作，这一处理方式称为高速响应；二是用多个 PMC 循环逐步完成数据的读入操作，这一处理方式称为低速响应；数据读入的处理方式与需要读入的数据类型有关，可参见相关指令的说明；PMC 的窗口数据写出总是需要多个 PMC 执行循环才能完成，故写出指令全部为低速响应。

窗口数据读入指令 WINDR（SUB51）和窗口数据写出指令 WINDW（SUB52）的编程格式如图 3-68 所示。

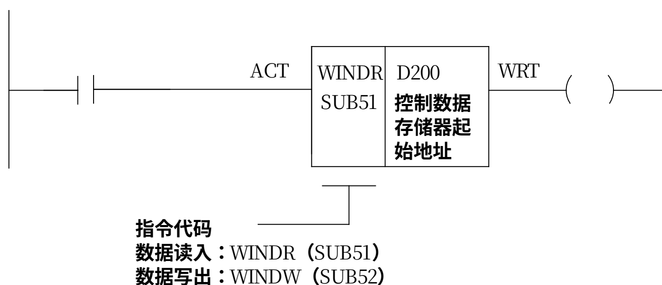


图 3-68　窗口数据读写指令的编程格式

指令中的 ACT 为指令启动信号，对于低速响应的读写操作，每完成一个数据的读写，都需要将 ACT 置 0；需要继续读写时，应再次将 ACT 置 1，直到数据读写结束。对于高速响应的读入操作，一次启动 ACT 即可完成全部数据的读入，故无须将 ACT 再次置 1。

指令中的 WRT 为读写完成输出，WRT = 1，表明数据读写操作结束；如 ACT 为 1 期间 WRT = 0，表明数据读写操作正在执行中。对于低速响应的读写操作，如需要继续读写操作，应利用 WRT 信号将 ACT 置 0 后再置 1。

当数据读写出现错误时，PMC 的特殊内部继电器 R9000.0 成为 1，错误原因将被输出到控制数据存储器的第 2 字上。

窗口读写需要连续 22 字（44 字节）的控制数据存储器，指令中只需要给定存储器起始地址 CTL + 0（图中为 D200），为了防止断电引起的执行错误，控制数据存储器应使用保持型数据存储器 D。

2. 控制数据存储器

PMC 和 CNC 的数据交换内容可通过控制数据存储器设定。数据读入时，控制数据存储器需要定义指令代码、数据号、数据属性等参数；读入指令执行完成后，在控制数据存储器的指定区域中还可返回数据实际值、数据长度和指令执行状态等信息。在数据写出时，控制

数据存储器需要定义指令代码、数据号、数据属性、数值、数据长度等参数；写出指令执行完成后，可返回指令的执行状态信息。

控制数据存储器的最大长度为 22 字（44 字节），其内容与读写数据的类型有关，可参见相关的指令说明，控制数据的基本存储格式如下。

CTL +0：功能代码。用来定义指令操作方式（读或写）和读写数据类型。

CTL +2：结束代码。用来存储指令执行完成后的返回信息。

CTL +4：读写数据的长度。

CTL +6：读写数据号。

CTL +8：读写数据的属性定义。

CTL +10：读写数据存储区域。

功能代码用来定义指令操作方式（读或写）和读写数据类型，FANUC 系统常用的功能代码如表 3-9 所示。

表 3-9　窗口读写数据的功能指令分类

功能分类	功能代码	功　能　名　称	处理方式	指令性质
CNC 状态信息读入	0	CNC 系统信息读入	高速响应	只读
	23	CNC 报警类型读入	高速响应	只读
	33	CNC 诊断数据读入	低速响应	只读
	76	CNC 状态行信息读入	高速响应	只读
	151	日期、时间读入	高速响应	只读
	156	CNC 诊断数据高速读入	高速响应	只读
程序执行状态信息读写	24	4 位现行程序号读入	高速响应	只读
	25	现行程序段号(顺序号)读入	高速响应	只读
	26	刀具进给速度读入	高速响应	只读
	27	绝对位置读入	高速响应	只读
	28	机械位置读入	高速响应	只读
	29	跳步切削位置读入	高速响应	只读
	32	模态代码读入	高速响应	只读
	50	实际主轴转速读入	高速响应	只读
	74	相对位置读入	高速响应	只读
	75	剩余行程读入	高速响应	只读
	90	8 位现行程序号读入	高速响应	只读
	157	缓冲存储器的程序段读入	高速响应	只读
	150	程序检查刀号输入	低速响应	写
CNC 参数读写	13	刀具偏置值读入	高速响应	只读
	14	刀具偏置值写出	低速响应	写
	15	工件坐标系偏置读入	高速响应	只读
	16	工件坐标系偏置写出	低速响应	写
	17	CNC 参数读入	低速响应	只读
	18	CNC 参数写出	低速响应	写
	19	CNC 设定数据读入	低速响应	只读
	20	CNC 设定数据写出	低速响应	写
	21	用户宏程序变量读入	低速响应	只读
	22	用户宏程序变量写出	低速响应	写
	59	宏编译变量读入	低速响应	只读
	60	宏编译变量写出	低速响应	写
	154	CNC 参数高速读入	高速响应	只读
	155	CNC 设定数据高速读入	高速响应	只读
	194	I/O-Link 程序号写出	低速响应	写

（续）

功能分类	功能代码	功　能　名　称	处理方式	指令性质
驱动器参数读写	30	位置跟随误差读入	高速响应	只读
	31	加减速误差读入	高速响应	只读
	34	驱动器实际输出电流读入	高速响应	只读
	138	串行主轴电动机、主轴实际转速读入	高速响应	只读
	152	驱动器转矩极限写出	低速响应	写
	153	串行主轴实际负载读入	高速响应	只读
	211	驱动器转矩预测值读入	高速响应	只读
	226	串行主轴转矩计算值读入	高速响应	只读
	232	串行主轴转矩测量值读入	高速响应	只读
刀具寿命管理数据读写	38～49、160、200/201、227/228	刀具寿命管理组号、组数量、刀具数量、当前寿命、长度/半径补偿号等数据读入	高速响应	只读
	163～173、229～231	指定组、指定刀号刀具的寿命设定值写出	低速响应	写

3. CNC 数据读/写

通过 PMC 的数据读入指令 WINDR，可将指令所指定的 CNC 数据读入到 PMC 中；通过 PMC 的数据写出指令 WINDW，则可将数据从 PMC 写出到 CNC 中。数据读/写完成后，可在控制数据存储器的指定区域中返回数据值、长度和指令执行状态等信息。

以 CNC 参数读写为例，参数读入指令 WINDR 的指令代码可以为 17（低速）或 154（高速）；参数写出指令 WINDW 的指令代码为 18，指令应设定的控制数据存储器参数及指令执行状态信息如表 3-10 所示。

表 3-10　CNC 参数读写的控制数据存储器设定

地 址	作　　用	控制数据存储器设定与执行状态返回	
		CNC 参数读入	CNC 参数写出
CTL＋0	功能代码	17（低速响应）/154（高速响应）	18（低速响应）
CTL＋2	结束代码	见结束代码说明	见结束代码说明
CTL＋4	数据长度	1 轴或不指定轴数：位或字节参数为 1，字参数为 2，双字参数为 4；指定全部轴时为 1×n、2×n、4×n（n 为轴数）	同左，但需要在指令上定义
CTL＋6	数据号	CNC 参数号	
CTL＋8	数据属性	0：非轴参数；1～n：指定轴的参数；－1：全部轴的参数	
CTL＋10	数据区域	参数值	参数值

窗口数据读写完成后，在控制数据存储器的结束代码（CTL＋2）上，将返回指令的执行状态信息。所有窗口数据读写指令的返回信息含义相同，CTL＋2 对应位为“1”所代表的意义如下。

bit 0：指令执行正确；

bit 1：功能代码错误；

bit 2：数据长度错误；

bit 3：数据号错误；

bit 4：数据属性错误；

bit 5：数据区域错误；

bit 6：无此功能；

bit 7：CNC 数据被写保护。

有关 CNC 数据读写更详细的内容可参见本书作者编著的《FANUC-0iD 选型与设计》一书（机械工业出版社，2013 年 6 月）。

3.7.3 PMC 轴控制

1. PMC 控制轴

PMC 控制轴是由 PMC 控制的 CNC 基本坐标轴，它在本质上是 CNC 控制的坐标轴，其连接、控制、调节、显示、参数设定的方法都与其他 CNC 轴一样，但其操作权被移交给了 PMC。根据需要，PMC 可通过指令 AXLCTL（SUB53）和接口信号 G142 ~ G185、F130 ~ F151，对 CNC 基本坐标轴中的一个或多个轴进行控制。

需要注意的是，PMC 控制轴和 PMC 控制的辅助轴有着本质的不同，PMC 控制的辅助轴是指通过 I/O-Link 总线与 PMC 连接的、直接由 PMC 的 I/O 信号（地址 X/Y）控制的机床辅助运动轴。

PMC 控制轴和 PMC 控制的辅助轴所使用的驱动器也有本质的不同，PMC 控制轴所使用的驱动器就是 CNC 控制的基本驱动器，它们通过 FSSB 总线与 CNC 连接；而 PMC 控制的辅助轴所使用的是通过 I/O-Link 总线与 PMC 连接的通用型驱动器；其运动轴的行程限位、参考点减速、手轮操作等信号与驱动器直接连接，其控制轴与 CNC 的控制轴数无关。PMC 控制的辅助轴通过 I/O-Link 总线与 PMC 连接，故又称 I/O-Link 轴。有关 I/O-Link 轴的详细内容可参见本书作者编著的《FANUC-0iD 调试与维修》一书（机械工业出版社，2013 年 11 月）。

在 FANUC 系统中，PMC 控制轴可通过 I/O 通道与 CNC 进行数据交换，控制通道与轴可通过 CNC 参数的设定匹配；如果需要，也可用一个通道的信号，同时控制多个坐标轴。PMC 对 CNC 坐标轴的控制，可通过 PMC 指令 AXLCTL 和接口信号 G142 ~ G185、F130 ~ F151，实现如下功能。

1）手动连续进给与手轮进给控制。

2）手动回第 1、2、3、4 参考点控制。

3）快速进给与切削进给控制。

4）跳步切削与进给暂停控制。

5）坐标系选择。

6）辅助功能输出。

7）恒转矩输出控制等。

但是，一般而言，PMC 控制轴不能用于轮廓加工，故不能参与 CNC 的插补运算。

2. PMC 轴控制指令

PMC 的轴控制可直接利用轴控制指令 AXLCTL（SUB53），一次性将全部指令信号传送到 CNC 上，指令的编程格式如图 3-69 所示。

指令的控制条件如下。

RST：复位输入。RST = 1 时清除全部指令，停止现有动作，同时输出 ECLER 信号到 CNC。

ACT：轴控制启动信号。ACT = 1 时处理轴控制指令。在指令执行过程中，ACT 应保持

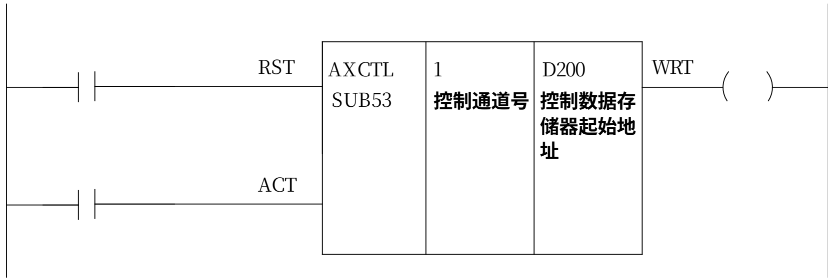


图 3-69　AXLCTL 指令的编程格式

为 1，直到处理完成（WRT = 1）；指令一旦执行完成，应立即取消 ACT 输入。如果输入 RST 和 ACT 同时为 1，则 RST 优先于 ACT。

指令的控制参数设定要求如下。

控制通道号：输入 1、2、3、4 选择 PMC 指令通道 A、B、C、D。

指令执行完成输出：WRT = 1 代表指令执行已完成，这时应立即取消 ACT 输入。

结果寄存器：当指令出现错误（如通道错误）时，结果寄存器 R9000. 0 = 1，指令的处理过程结束。

控制数据存储器：用于存储坐标轴的控制数据，字长为 8 字节，输入数据与控制要求有关，数据格式如下（起始地址为 CTL + 0）。

CTL + 0：系统保留区，输入规定为 0。

CTL + 1：控制命令代码，PMC 发送到 CNC 的控制命令 EC0 ~ EC6。

CTL + 2/CTL + 3：指令数据 1，数据根据控制命令的不同而不同。

CTL + 4 ~ CTL + 7：指令数据 2，数据根据控制命令的不同而不同。

AXLCTL（SUB53）允许的命令代码与对应的指令数据要求见表 3-11 所示。

表 3-11　AXLCTL 命令代码与指令数据

操 作	命令代码	指令数据 1	指令数据 2
快速进给	00H	快进速度(PRM8002. 0 = 0 时，使用 CNC 速度)	总行程
每分钟切削进给	01H	进给速度值(进给速度设定为 0 时，需要 RST 信号解除操作)	总行程
每转切削进给	02H		总行程
跳步切削	03H		总行程
暂停	04H	—	暂停时间
回参考点操作	05H	—	—
手动连续进给	06H	进给速度	运动方向(最高位)
回第 1 参考点	07H	进给速度(PRM8002. 0 = 0 时,使用 CNC 速度)	—
回第 2 参考点	08H	进给速度(PRM8002. 0 = 0 时,使用 CNC 速度)	—
回第 3 参考点	09H	进给速度(PRM8002. 0 = 0 时,使用 CNC 速度)	—
回第 4 参考点	0AH	进给速度(PRM8002. 0 = 0 时,使用 CNC 速度)	—
与第 1 主轴同步	0BH	输入脉冲数	—
与第 1 手轮同步	0DH	输入脉冲数	—
与第 2 手轮同步	0EH	输入脉冲数	—
与第 3 手轮同步	0FH	输入脉冲数	—
进给速度指定	10H	进给速度值	—
转矩控制	11H	最大进给速度	转矩给定值

（续）

操 作	命令代码	指令数据 1	指令数据 2
辅助功能	12H	—	辅助功能代码
第 2 辅助功能	13H	—	第 2 辅助功能代码
第 3 辅助功能	14H	—	第 3 辅助功能代码
机床坐标系定位	20	进给速度(PRM8002.0=0 时,使用 CNC 速度)	定位位置(绝对位置)

3. PMC 控制信号

PMC 轴控制除需要编制 AXCTL 指令外，还需要在 PMC 程序中编制如下轴控制信号（信号中的 x 代表通道代号 A、B、C、D）：

EFINx：辅助功能执行完成信号（G142.0、G154.0、G166.0、G178.0）；

ECKZx：到位检查信号（G142.1、G154.1、G166.1、G178.1）；

EMBUFx：缓冲禁止信号（G142.2、G154.2、G166.2、G178.2）；

ESBKx：单段停止信号（G142.3、G154.3、G166.3、G178.3）；

ESOFx：伺服关闭信号（G142.4、G154.4、G166.4、G178.4）；

ESTPx：轴停止信号（G142.5、G154.5、G166.5、G178.5）；

ECLRx：复位信号（G142.6、G154.6、G166.6、G178.6）；

EMSBKx：单段停止禁止信号（G142.7、G154.7、G166.7、G178.7）；

* +ED1 ~ * +ED4：正向外部减速信号（G118.0 ~ G118.3）；

* -ED1 ~ * -ED4：负向外部减速信号（G120.0 ~ G120.3）；

EAX1 ~ EAX4：轴选择信号（G136.0 ~ G136.4）；

ROV2E、ROV1E：快速倍率（G150.1、G150.0）；

OVCE：进给倍率无效（G150.5）；

RTE：手动快速选择（G150.6）；

DRNE：空运行（G150.7）；

FV0E ~ FV7E：进给倍率（G151.0 ~ G151.7）；

SKIP、ESKIP：跳步信号（X4.7、X4.6）。

PMC 轴的工作状态可通过 CNC-PMC 的接口输出到 PMC，供 PMC 程序使用，轴工作状态输出信号如下（信号中的 x 代表通道代号 A、B、C、D）：

EINPx：轴到位信号（F130.0、F133.0、F136.0、F139.0）；

ECKZx：轴到位检查中（F130.1、F133.1、F136.1、F139.1）；

EIALx：报警信号（F130.2、F133.2、F136.2、F139.2）；

EDENx：辅助功能执行中（F130.3、F133.3、F136.3、F139.3）；

EGENx：轴运动中（F130.4、F133.4、F136.4、F139.4）；

EOTPx：正向超程信号（F130.5、F133.5、F136.5、F139.5）；

EOTNx：负向超程信号（F130.6、F133.6、F136.6、F139.6）；

EBSYx：命令读取完成信号（F130.7、F133.7、F136.7、F139.7）；

EMFx：辅助功能选通信号（F131.0、F134.0、F137.0、F140.0）；

EABUFx：缓冲存储区满信号（F131.1、F134.1、F137.1、F140.1）；

EMF2x：第 2 辅助功能选通信号（F131.2、F134.2、F137.2、F140.2）；



EMF3x：第 3 辅助功能选通信号（F131.3、F134.3、F137.3、F140.3）；

EM11x ~ EM48x：辅助功能输出信号（F132.0 ~ F132.7/F142.0 ~ F142.7、F135.0 ~ F135.7/F145.0 ~ F145.7、F138.0 ~ F138.7/F148.0 ~ F148.7、F141.0 ~ F141.7/F151.0 ~ F151.7）；

EACNT1 ~ EACNT4：轴选择输出信号（F182.0 ~. F182.3）；

TRQM1 ~ TRQM 4：轴转矩控制方式信号（F190.0 ~. F190.3）。

有关 PMC 控制轴的更多内容可参见本书作者编著的《FANUC-0iD 调试与维修》一书（机械工业出版社，2013 年 11 月）。

第 4 章

操作面板控制程序典例

4.1 FANUC 面板程序设计

4.1.1 FANUC 面板简介

1. 基本说明

FS-0iMateD 和 FS-0iD 是目前使用最为广泛的典型系统，本书将以此为例，来介绍 FANUC 数控系统的 PMC 程序设计方法和实例。由于不同系列 FANUC 系统的控制要求、接口信号十分类似，因此，书中的设计方法、典型程序也可直接或稍加改动后，用于其他 FANUC 系统，对此不再一一说明。

操作面板是任何设备都必需的部件。数控机床的操作面板实际包括 CNC 的手动数据输入/显示面板（MDI/LCD 面板）和机床操作面板两大部分。

（1）MDI/LCD 面板

MDI/LCD 面板主要用于 CNC 加工程序、参数、坐标轴位置、CNC 工作状态、PMC 程序等数据的输入、编辑、监控、显示，它是 CNC 的基本组件，由 CNC 生产厂家设计并提供。在绝大多数场合，MDI/LCD 面板与 CNC 集成一体，组成完整的 CNC/MDI/LCD 单元。MDI/LCD 面板通常由 CNC 操作系统直接控制，一般情况下无须进行 PMC 编程。

（2）机床操作面板

机床操作面板是操作、控制机床运动必备的部件，由于机床、CNC 系统的控制要求各不相同，因此，它原则上由机床生产厂家（用户），根据机床的实际控制要求设计和制作。但为了方便用户使用，FANUC、SIEMENS 等数控系统生产厂家，也可提供通用的标准机床操作面板，作为数控系统的附加部件，供机床生产厂家选择。机床操作面板上的按钮、指示灯绝大多数属于 PMC 的输入/输出信号，其控制需要通过 PMC 程序实现。

在配套 FANUC 系统的机床上，机床操作面板既可选配 FANUC 标准部件，也可由机床生产厂家自行设计、制作，两者的结构、连接要求有较大的不同。FANUC 标准面板的规格基本统一、程序设计要求相同，本章将对此进行全面的说明；用户自行设计的机床操作面板的形式多样，本章选择了一种使用相对较广的典型面板，对其进行了详细的介绍，其他操作的结构布局可能有所区别，但其基本操作器件及 PMC 程序设计的要求和方法相近，使用时可参照进行。

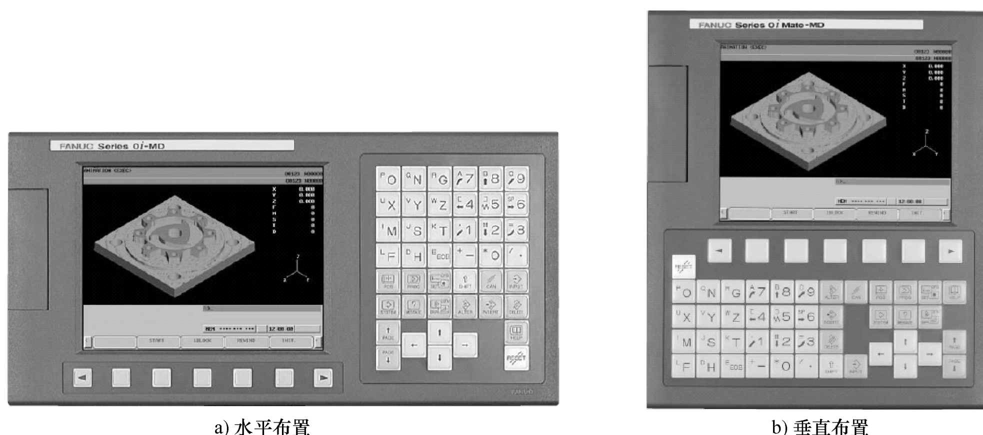
2. MDI/LCD 面板

FS-0iD 数控系统的 CNC 单元有 CNC/LCD/MDI 集成一体型和 CNC/LCD 集成、MDI 分



离型两种基本结构，前者为 FS-0iD、FS-0iMateD 的常用结构，其 LCD 为 8.4in 彩色；后者多用于性能、价格相对较高的数控机床，其 LCD 为 10.4in 彩色。FS-0iMateD 不能选用分离型结构。

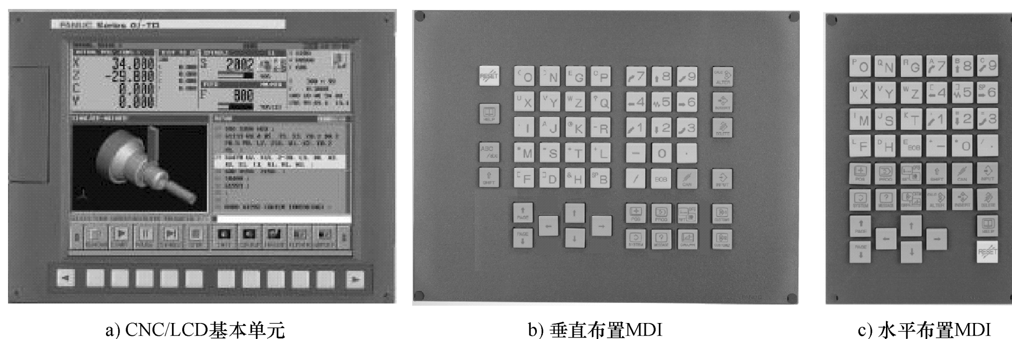
8.4in、CNC/LCD/MDI 集成单元可用于 FS-0iD、FS-0iMateD 的所有规格，它有图 4-1a 所示的水平布置和图 4-1b 所示的垂直布置两种形式。



a) 水平布置　　b) 垂直布置

图 4-1　CNC/LCD/MDI 集成型 CNC

10.4in、MDI 分离型 CNC 由图 4-2a 所示的 CNC/LCD 基本单元和分离型 MDI 单元组成。MDI 单元可选择图 4-2b 所示的垂直布置或图 4-2c 所示的水平布置两种不同的结构。



a) CNC/LCD基本单元　　b) 垂直布置MDI　　c) 水平布置MDI

图 4-2　MDI 分离型 CNC

3. FANUC 机床操作面板

FANUC 机床操作面板是 FANUC 针对铣床（加工中心）、数控车床的控制要求，专门设计的通用机床操作面板，这种面板集成有 PMC 的 I/O-Link 总线接口，可与 PMC 直接进行总线连接，使用时无须进行按钮、指示灯等 I/O 器件的接线，其使用简单、连接方便、外形美观、可靠性高，但价格相对较贵。

需要注意的是，目前也有较多的国内厂家设计、生产了与 FANUC 机床操作面板外形类似的产品，但此类面板无 PMC 的 I/O-Link 接口，它不能和 PMC 进行总线连接，因此，使用时必须选配 FANUC-I/O 单元，面板上的按钮、指示灯需要连接到 I/O 单元上，其连接工作量较大，可靠性和外观与 FANUC 产品相比，也有一定的差距。



FANUC 机床操作面板总体可分为机床主操作面板（简称主面板）、机床子操作面板（简称子面板）和手持操作单元 3 大类。

（1）主面板

FANUC 主面板设计有机床操作所必需的 CNC 操作方式选择、手动进给轴选择、程序运行控制等操作按键和指示灯，并集成有 I/O-Link 总线接口，故能够以 I/O-Link 从站的形式，链接到 PMC 的 I/O-Link 总线上。

FS-0iD 常用的主面板有图 4-3 所示的主面板和小型主面板两种，每种又有 A/B 型、英文标注/符号标注型、车床/铣床控制型等规格，不同规格的作用和功能类似。



a) 主面板B　　b) 小型主面板

图 4-3　FS-0iD 主面板

（2）子面板

子面板为附加的机床操作面板，面板上主要布置有进给速度倍率、主轴转速倍率等调节开关和存储器保护、CNC-ON/OFF、急停等操作按钮。子面板无 I/O-Link 总线接口，但它可直接与主面板连接，通过主面板的 I/O-Link 总线，将倍率等调节开关、存储器保护按钮的信号转换为 PMC 的 I/O 信号；而 CNC-ON/OFF、急停按钮则可通过统一的电缆，引入到电气柜的强电控制线路中。

FANUC 子面板同样有多种规格，图 4-4 为两种数控机床的常用产品，其他形式的子面板作用和功能与此类似。



a) 子面板B1　　b) 子面板A

图 4-4　FS-0iD 子面板



（3）手持操作单元

手持操作单元是可移动式操作装置，它可方便操作者的对刀、测量等调整操作，在大中型数控机床上一般都需要安装。FANUC 公司的简易手持操作单元简称手轮盒（Manual Pulse Generator），其外形如图 4-5a 所示。手轮盒上安装有手轮、手轮轴选择和手轮倍率调节开关，手轮盒可直接与 FANUC 主面板连接，通过主面板的 I/O-Link 总线，将轴选择、倍率调节开关的信号转换为 PMC 的 I/O 信号。手轮盒的连接简单，因此，即使是用户自行设计、制作的手轮盒，也可与 FANUC 主面板进行连接。

FANUC 公司的标准手持操作单元称为手持面板（Handy Machine Operator's Panel），其外形如图 4-5b 所示。手持面板的功能相当于一个微型的机床主面板，它不但安装有手轮等操作件，且还安装有操作方式选择、手动进给轴选择、主轴起/停、倍率调节、程序运行控制等常用按键和调节开关，并带有液晶显示器和急停按钮。手持面板需要通过专门的 I/O 接口模块与 PMC 的 I/O-Link 总线链接，其价格较高，故通常只用于大型、高档数控机床，普通数控机床一般较少使用。



a) 手轮盒　　b) 手持面板

图 4-5　手持操作单元

4.1.2　PMC 程序设计要求

1. 面板配置

机床操作面板是用来控制机床运行、指示 CNC 和机床工作状态的部件，其主要功能为选择 CNC 操作方式、控制加工程序运行、进行坐标轴的手动移动、调整坐标轴进给速度和主轴转速、手动控制机床辅助部件动作等。虽然 FANUC 机床操作面板的配置方案可选择多种，但作用和功能基本一致，故其 PMC 程序设计的基本要求和方法相同。

图 4-6 是 FS-0iMateD 或 FS-0iD 最常用的 8.4in 水平布置 CNC/LCD/MDI 单元的机床操作面板配置方案，它由 400mm × 200mm 的 CNC 基本单元、290mm × 180mm 的 FANUC 主面板 B 和 110mm × 180mm 的 FANUC 子面板 B1，组成了 400mm × 380mm 的完整机床操作单元。

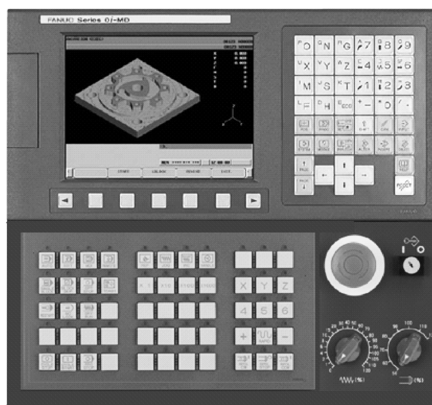


图 4-6　FS-0iD 典型配置

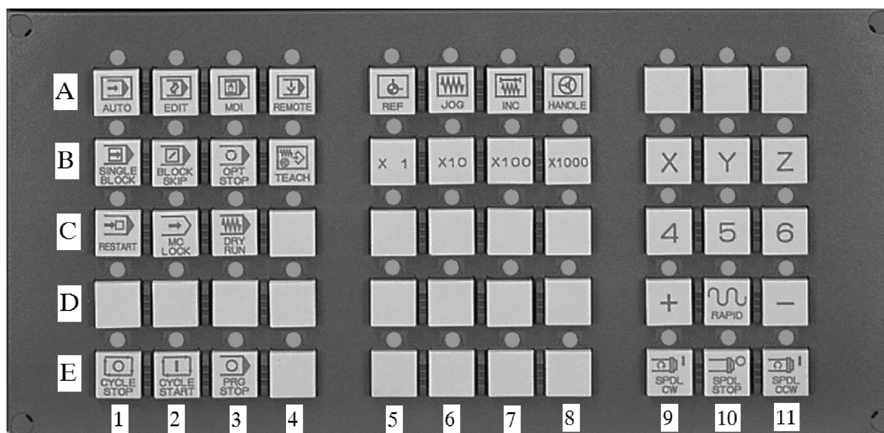
主面板 B 集成有 PMC 的 I/O-Link 总线接口，可与 PMC 直接连接；主面板 B 上还设计有连接子面板 B1 和手轮盒的连接接口，可将子面板和手轮盒上的倍率开关、手轮轴选择开关信号转换为 PMC 的输入信号。

2. I/O 地址

选配 FANUC 主面板时，主面板和子面板上的按键、倍率开关、指示灯等器件的 I/O 地址，可直接通过 CNC 的 PMC 配置（PMC CNF）操作设定，有关内容可参见本书作者编著的《FANUC-0iD 调试与维修》一书（机械工业出版社，2013 年 11 月）。

（1）主面板 I/O 地址分配

FANUC 主面板 B 上安装有 5×11 对按键/LED 指示灯，当主面板的 I/O 起始地址设定为 m/n 时，操作按键/指示灯的 I/O 地址将按照图 4-7 自动分配。例如，当主面板的输入起始地址设定为 m=20、输出起始地址设定为 n=8 时，因【AUTO】按键/指示灯安装于图 4-7a 的 A 行、第 1 列，根据图 4-7b，可得到其按键的输入地址为 X24.0（Xm+4.0）、指示灯的输出地址为 Y8.0（Yn+0.0）；同样，由于手动进给轴选择键【X】的安装位置为 B 行、第 9 列，故其按键的输入地址为 X29.4（Xm+9.4）、指示灯的输出地址为 Y13.4（Yn+5.4）等。



a) 面板位置

键/LED \ 位	7	6	5	4	3	2	1	0
Xm+4/Yn+0	B4	B3	B2	B1	A4	A3	A2	A1
Xm+5/Yn+1	D4	D3	D2	D1	C4	C3	C2	C1
Xm+6/Yn+2	A8	A7	A6	A5	E4	E3	E2	E1
Xm+7/Yn+3	C8	C7	C6	C5	B8	B7	B6	B5
Xm+8/Yn+4	E8	E7	E6	E5	D8	D7	D6	D5
Xm+9/Yn+5		B11	B10	B9		A11	A10	A9
Xm+10/Yn+6		D11	D10	D9		C11	C10	C9
Xm+11/Yn+7						E11	E10	E9

b) 地址分配

图 4-7　主面板地址分配



（2）子面板 I/O 地址

FANUC 子面板 B1 上的 CNC-ON/OFF、急停按钮需要利用统一的电缆，引入到电气柜的强电控制线路中，它们与 PMC 程序设计无关。但是，面板上的进给速度倍率调节开关、主轴转速倍率调节开关和存储器保护开关，可通过主面板的 I/O-Link 总线转换为 PMC 的输入信号，倍率调节开关均为格雷码，其输入地址分别如表 4-1 和表 4-2 所示；存储器保护开关的输入地址为 Xm＋1.4。

表 4-1　进给速度倍率调节开关输入地址表

开　关		格雷码信号输入					
位置	倍率	Xm＋0.5	Xm＋0.4	Xm＋0.3	Xm＋0.2	Xm＋0.1	Xm＋0.0
1	0%	0	0	0	0	0	0
2	1%	1	0	0	0	0	1
3	2%	0	0	0	0	1	1
4	4%	1	0	0	0	1	0
5	6%	0	0	0	1	1	0
6	8%	1	0	0	1	1	1
7	10%	0	0	0	1	0	1
8	15%	1	0	0	1	0	0
9	20%	0	0	1	1	0	0
10	30%	1	0	1	1	0	1
11	40%	0	0	1	1	1	1
12	50%	1	0	1	1	1	0
13	60%	0	0	1	0	1	0
14	70%	1	0	1	0	1	1
15	80%	0	0	1	0	0	1
16	90%	1	0	1	0	0	0
17	95%	0	1	1	0	0	0
18	100%	1	1	1	0	0	1
19	105%	0	1	1	0	1	1
20	110%	1	1	1	0	1	0
21	120%	0	1	1	1	1	0

表 4-2　主轴转速倍率调节开关输入地址表

开　关		格雷码信号输入					
位置	倍率	Xm＋1.3	Xm＋1.2	Xm＋1.1	Xm＋1.0	Xm＋0.7	Xm＋0.6
1	50%	0	0	0	0	0	0
2	60%	0	1	0	0	0	1
3	70%	0	0	0	0	1	1
4	80%	0	1	0	0	1	0
5	90%	0	0	0	1	1	0
6	100%	0	1	0	1	1	1
7	110%	0	0	0	1	0	1
8	120%	0	1	0	1	0	0

3. 程序设计要求

机床操作面板上的大多数按键用于 CNC 的运行控制，根据操作面板的结构和第 3 章 3.2 节所述的 PMC-CNC 接口信号要求，可将其 PMC 程序设计的主要内容归纳如下。

1）主面板上用于 CNC 操作方式选择的【AUTO】、【EDIT】等按键输入，需要转换为 PMC-CNC 的接口信号 MD1/MD2/MD4。

2）主面板上用于增量进给倍率选择的【×1】、【×10】等按键输入和手轮盒上×1、×10 等开关输入，需要转换为 PMC-CNC 接口信号 MP1/MP2。

3）子面板上的进给倍率开关需要同时用于手动进给速度、切削进给速度、快速进给速度的倍率调节，因此，需要将开关的格雷码输入转换为 PMC-CNC 接口上的二进制编码手动进给速度倍率信号 *JV15～*JV0、切削进给速度倍率信号 *FV7～*FV0 和快速进给速度倍率信号 HROV7/*HROV6～*HROV0。

4）子面板上的主轴转速倍率调节开关为格雷码输入，需要转换为 PMC-CNC 接口所需要的二进制编码主轴转速倍率调节信号 SOV7～SOV0。

5）主面板上的单程序段【SINGLE BLOCK】、试运行【DRY RUN】、循环启动【CYCLE START】、循环停止【CYCLE STOP】等程序运行控制按键，需要转换为 PMC-CNC 接口所需要的 SBK、BDT、DRN、ST、*SP 等程序运行控制信号。

6）主面板上的坐标轴选择键【X】、【Y】、【Z】、【4】和运动方向键【+】、【-】等，需要转换为 PMC-CNC 接口所需要的+X、+Y、+Z、+4、-X、-Y、-Z、-4 等坐标轴手动进给控制信号。

此外，还需要根据实际需要，选择 PMC-CNC 接口的部分 CNC 工作状态信号，如现行操作方式、手动进给轴和方向等，将其按需要转换为主面板上的指示灯信号等。以下将逐一介绍实现以上控制要求的 PMC 程序设计典例。

4.2 操作方式选择程序典例

4.2.1 程序设计要求

1. 操作键与地址

FANUC 主面板 B 上的 CNC 操作方式选择键有图 4-8 所示的 9 个，假设 CNC 上的 PMC 配置参数所设定的输入起始地址为 m=20，输出起始地址为 n=8，对照图 4-7b 的地址分配表，可得到 PMC 编程的按键和指示灯 I/O 地址如表 4-3 所示，表中的 DNC 代表 DNC 运行方式选择键【REMOTE】，HND 代表手轮操作选择键【HANDLE】，TCH 代表示教操作选择键【TEACH】。

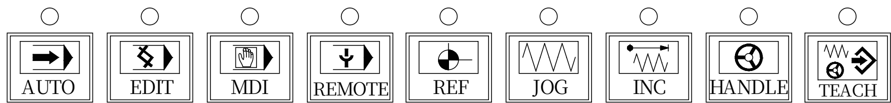


图 4-8 主面板操作方式选择键

表 4-3 操作方式按键/指示灯的 I/O 地址表

按键/指示灯	AUTO	EDIT	MDI	DNC	REF	JOG	INC	HND	TCH
按键/指示灯位置	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	B4
按键输入地址	X24.0	X24.1	X24.2	X24.3	X26.4	X26.5	X26.6	X26.7	X24.7
指示灯输出地址	Y8.0	Y8.1	Y8.2	Y8.3	Y10.4	Y10.5	Y10.6	Y10.7	Y8.7

根据第 3 章 3.2 节的 PMC-CNC 接口信号的要求，FS-0iD 等 CNC 的操作方式选择信号



的 PMC 输出地址如表 4-4 所示。

表 4-4　CNC 操作方式选择信号的 PMC 输出地址

PMC→CNC 接口信号		MD4	MD2	MD1	DNCI	ZRN
PMC 输出地址		G043.2	G043.1	G043.0	G043.5	G043.7
操作方式	自动运行(AUTO)	0	0	1	0	0
	DNC 运行(DNC/REMOTE)	0	0	1	1	0
	程序编辑(EDIT)	0	1	1	0	0
	手动数据输入(MDI)	0	0	0	0	0
	手轮示教(THND)	1	1	1	0	0
	手动示教(TJOG)	1	1	0	0	0
	手轮进给(HND)	1	0	0	0	0
	增量进给(INC)	1	0	0	0	0
	手动连续进给(JOG)	1	0	1	0	0
	手动回参考点(REF/ZRN)	1	0	1	0	1

2. 程序设计时需考虑的问题

分析表 4-4 中的 PMC 输出信号要求，可得到 CNC 操作方式选择程序设计时需考虑的问题如下。

1）操作方式 DNC（REMOTE）和 AUTO 的 MD1/MD2/MD4 信号状态相同，程序设计时需要予以区分。DNC 实际是自动运行方式的一种，因此，作为程序设计方法之一，可对面板操作步骤进行这样的规定：需要进行 DNC 操作时，应先按【AUTO】键选定自动运行方式，此时，如接着按【REMOTE】键，便可转入 DNC 操作方式；如不按【REMOTE】键，或者，在 DNC 方式选定后再次按【REMOTE】键，则选择或返回到通常的 CNC 存储器自动运行方式 AUTO。

2）操作方式手动回参考点 REF（ZRN）和手动连续进给 JOG 的 MD1/MD2/MD4 信号状态相同，程序设计时也需要予以区分。同样，由于手动回参考点操作 REF 实际也是手动操作方式的一种，因此，也可对面板操作步骤进行这样的规定：当需要进行 REF 操作时，应先按【JOG】键选定手动操作方式，此时，如接着按面板上的【REF】键，便可转入手动回参考点操作 REF 方式，如不按【REF】键，或者，在手动回参考点方式选定后再次按【REF】键，则选择或返回到通常的手动进给方式 JOG。

3）操作方式 HND 和 INC 的 MD1/MD2/MD4 信号状态相同，PMC 程序设计时可结合 CNC 的参数设定，进行如下处理。

未安装手轮的机床：可设定 CNC 参数 PRM8131.0 = 0，直接取消手轮进给功能。

安装但只需要使用手轮的机床：可设定 CNC 参数 PRM8131.0 = 1、PRM7100.0 = 0，直接取消增量进给功能。

安装并需要同时使用手轮和增量进给操作功能的机床：需要同时设定 CNC 参数 PRM8131.0 = 1、PRM7100.0 = 1。由于手轮进给需要有专门的手轮轴选择信号 HS1A ~ HS1D（G018.0 ~ G018.3），因此，可通过【HANDLE】键控制手轮轴选择 HS1A ~ HS1D 信号，来区分 INC 和 HND 操作，即 HS1A ~ HS1D 信号有效时为 HND 操作，HS1A ~ HS1D 信号无效时为 INC 操作。

4）手轮示教 THND 和手动示教 TJOG 是一种通过手轮或手动连续进给运动，指定坐标轴移动距离的特殊编程方式，实际使用这一功能的数控机床不多。由于 FANUC 子面板的

THND 和 TJOG 操作方式使用的是同一选择键【TEACH】，因此，程序设计时可进行这样的处理：按下操作键【TEACH】，首先选择的是 TJOG 方式，此时，如接着按【HANDLE】键选择手轮操作，则生效 THND 方式；如不按【HANDLE】键，或者，在 THND 方式选定后再次按【HANDLE】键，则选择或返回到 TJOG 方式。

根据以上分析，PMC 程序设计时可将表 4-4 所示的 CNC 操作方式选择信号要求，简化为表 4-5 所示的基本操作方式选择信号的程序设计要求。

表 4-5　操作方式选择信号的 PMC 程序设计要求

操作方式选择信号	MD4	MD2	MD1	附加操作
	G043.2	G043.1	G043.0	
自动运行(AUTO)	0	0	1	按【DNC】键转换到 DNC 方式
程序编辑(EDIT)	0	1	1	—
手动数据输入(MDI)	0	0	0	—
增量进给(INC)	1	0	0	按【HND】键转换到 HND 方式
手动连续进给(JOG)	1	0	1	按【REF】键转换到 REF 方式
手动示教(TJOG)	1	1	0	按【HND】键转换到 THND 方式

4.2.2　MD4/MD2/MD1 控制程序

由于 CNC 操作方式选择信号 MD1/MD2/MD4 的编码无规律，因此，其控制程序一般直接利用逻辑梯形图编程。

1. 不使用示教功能

大多数数控机床实际上不使用示教功能 TJOG 和 THND，这时可不考虑【TEACH】键，以简化 PMC 程序。

根据表 4-3 操作方式选择按键的输入地址和表 4-4 的 MD1/MD2/MD4 信号要求，可得到 MD1/MD2/MD4 信号处理程序如图 4-9 所示。

由程序可见，无论 MD4/MD2/MD1 原来的状态怎样，只要按下主面板上的【AUTO】键，X24.0 将为“1”，从而使得 PMC 输出信号 G043.0（MD1）为“1”，而 G043.1（MD2）、G043.2（MD4）则为“0”，因此，操作方式选择信号 MD4/MD2/MD1 的状态将为“001”，CNC 选择自动运行（AUTO）方式。如按下主面板上的【EDIT】键，则 X24.1 将为“1”，PMC 输出信号 G043.0（MD1）、G043.1（MD2）被同时置“1”，而 G043.2（MD4）则为“0”，从而使操作方式选择信号 MD4/MD2/MD1 的状态为“011”，CNC 选择程序编辑方式。操作其他按键的情况类似，故可实现表 4-5 所示的控制要求。

图 4-9 中的 R100.0 用于生效手轮轴选择信号，当按下主面板上的 HND 键时，一方面可将信号 MD4/MD2/MD1 的状态置为“100”，使 CNC 进入 INC/HND 操作，同时，又可利用信号 R100.0，生效手轮轴选择信号 HS1A ~ HS1D，使 CNC 成为 HND 操作。而在按下主面板上的 INC 键时，虽然信号 MD4/MD2/MD1 的状态同样被置为“100”，但由于信号 R100.0 为“0”，故 HS1A ~ HS1D 被禁止，CNC 将选择 INC 操作。

2. 使用示教功能

使用示教功能的数控机床上，需要考虑示教操作的 TJOG 和 THND 方式转换，因此，需要使用图 4-10 所示的 PMC 程序。

图 4-10 程序在图 4-9 程序的基础上，增加了以下两方面功能。



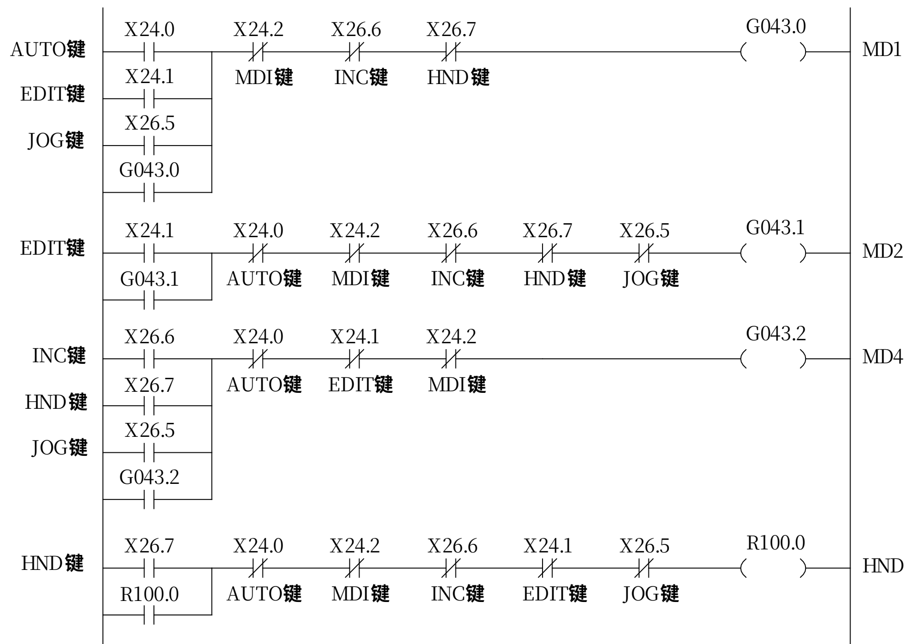


图 4-9 不使用示教操作的程序

1）TCH 操作方式选择功能。程序在 MD4/MD2/MD1 信号控制程序段上增加了【TEACH】键（X24.7），故可在按下主面板上的【TEACH】键时，使操作方式选择信号 MD4/MD2/MD1 的状态变为“110”，首先选择手动示教操作 TJOG 方式。

2）【HND】键转换功能。程序将主面板的手轮方式选择键【HND】（X26.7），转换成了 2 个不同的控制信号 R101.0 和 R101.1。

对于常规的手轮操作，CNC 的示教操作方式状态输出 F003.7 为“0”，操作【HND】键时，R101.0 将为“1”，它可使 MD4/MD2/MD1 信号的状态变为“100”，选择常规的 INC/HND 操作方式。同时，可通过 R100.0 生效手轮轴选择信号 HS1A ~ HS1D，使 CNC 进入通常的手轮操作方式。

当示教操作方式被选定时（MD4/MD2/MD1 =110），CNC 的现行工作状态信号输出 F003.7 将为“1”，此时，如按下【HND】键，信号 R101.1 将为“1”，从而使 MD4/MD2/MD1 信号的状态变为“111”，CNC 进入手轮示教 THND 操作。

程序中的 R101.1 信号处理采用了交替通断控制的典型程序，以便能够在示教方式下，通过重复操作【HND】键，切换 THND 和 TJOG 操作方式。

4.2.3 DNC/REF 及指示灯程序

1. DNC/REF 信号处理

根据前述的设计分析，CNC 的 DNC 操作需要先按【AUTO】键，选定自动运行方式，然后利用【REMOTE】键，切换 DNC、AUTO 操作方式；而 CNC 的 REF 操作则需要先按【JOG】键，选定手动操作方式，然后利用【REF】键，切换 JOG、REF 操作方式。按此要求设计的 CNC 操作方式选择信号 DNC/REF 处理程序如图 4-11 所示。

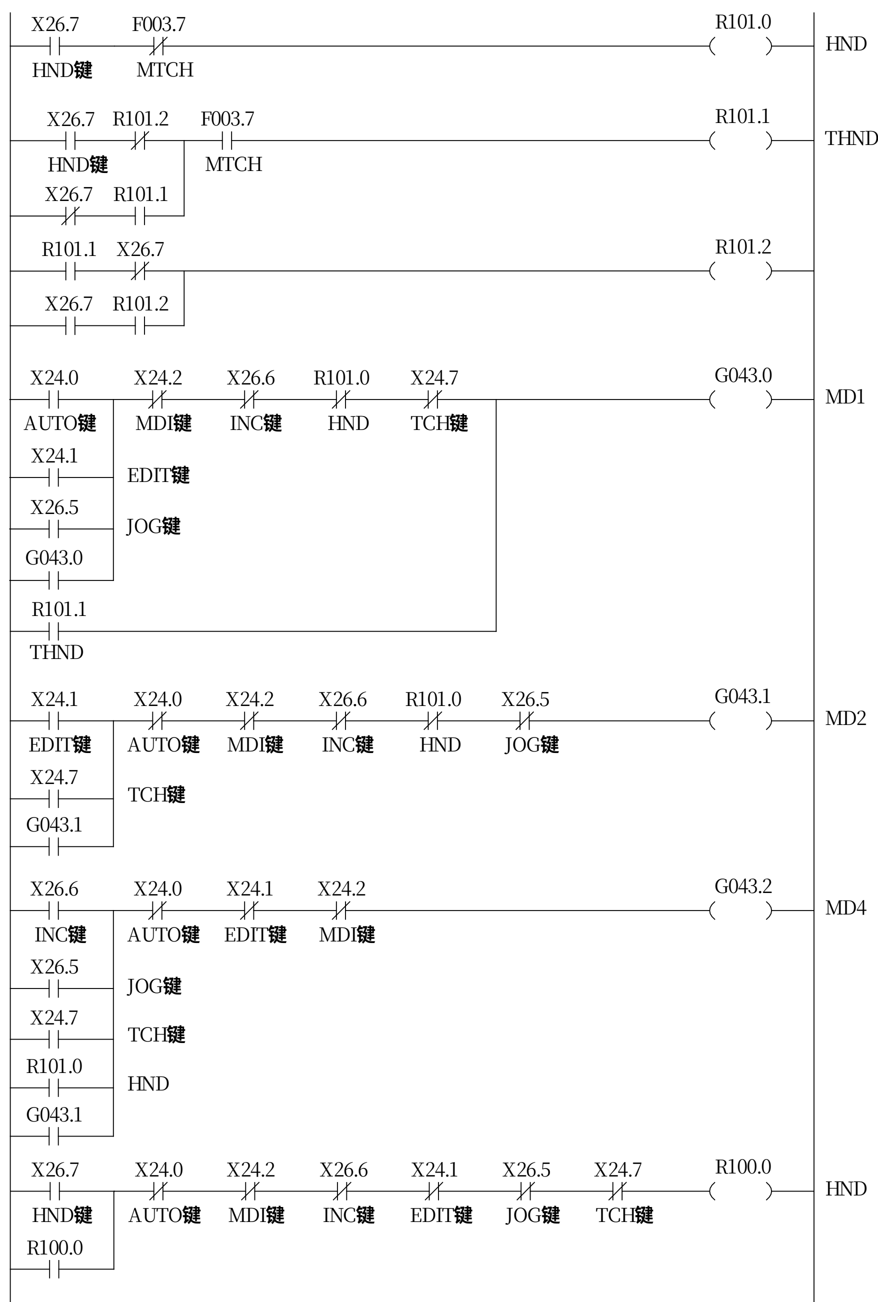


图 4-10　使用示教操作的程序

CNC 的 DNC 方式选择信号（G043.5）和手动回参考点方式选择信号 ZRN（G043.7）可分别在 AUTO、JOG 方式选定后，用按键【REMOTE】（X24.3）、【REF】（X26.4）选择。按键的控制程序采用了交替通断控制的典型程序。

例如，当操作方式 AUTO 被选定时，MD4/MD2/MD1 的状态为“001”，R200.0 输出“1”，此时，可通过【REMOTE】键的输入 X24.3，控制 DNC 方式选择信号 G043.5 的交替通断，即按【REMOTE】键，X24.3 为“1”，DNC 信号 G043.5 将置“1”，CNC 操作方式



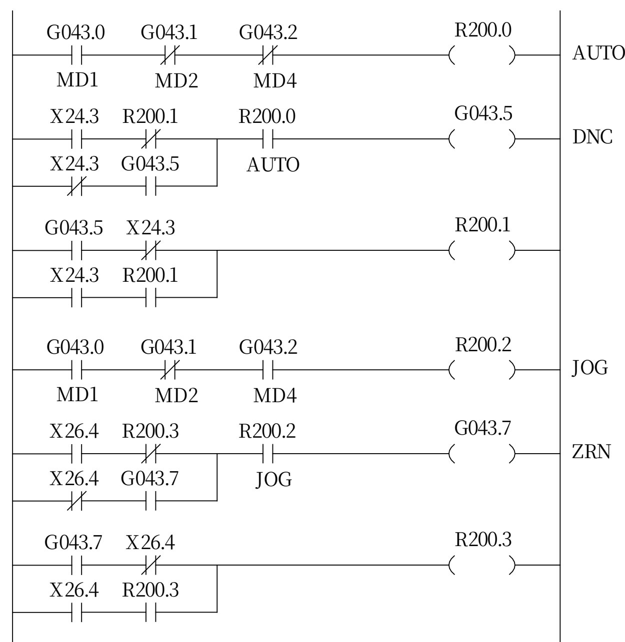


图 4-11　DNC/REF 处理程序

可从 AUTO 转为 DNC；再次按【REMOTE】键，则 G043.5 重新置“0”，操作方式回到 AUTO。如 AUTO 方式未被选定，则 R200.0 为“0”，DNC 选择信号 G043.5 总是为“0”，【REMOTE】键的操作将无效。

利用按键【REF】生成手动回参考点信号 ZRN 的控制程序与 DNC 类似，它将在手动方式 JOG 被选定、MD4/MD2/MD1 的状态为“101”时有效。

2. 指示灯控制

CNC 的操作方式一旦被选定，如 CNC 工作正常，便可进入所选的操作方式，同时，CNC 可将当前生效的 CNC 操作方式，通过 CNC-PMC 接口信号 F003.0 ~ F00.3.7、F004.5 输出到 PMC 上。CNC 的现行操作方式信号地址如表 4-6 所示。

表 4-6　CNC 现行操作方式信号地址

操作方式	EDIT	AUTO	DNC	MDI	JOG	MPG	INC	REF	TCH
信号名称	MEDIT	MMEM	MRMT	MMDI	MJ	MH	MINC	MREF	MTCHIN
信号地址	F003.6	F003.5	F003.4	F003.3	F003.2	F003.1	F003.0	F004.5	F003.7

根据以上状态输出信号，按键的指示灯输出可通过图 4-12 所示的程序进行控制。程序中的 R9091.6 为 PMC 的特殊内部继电器，其状态为 1Hz 脉冲信号。

指示灯输出程序设计时，对指示灯的显示状态进行了如下规定。

1Hz 闪烁：代表 PMC 的操作方式选择信号已输出，但 CNC 实际操作方式未生效。

亮：代表 CNC 已经生效所选的操作方式。

例如，当 PMC 的操作方式选择信号 MD4/MD2/MD1 输出为“001”时，通过图 4-12 所示的程序，可使 R200.0 为“1”；此时，如 CNC 的现行操作方式不为 AUTO，CNC 的工作状态信号 MMEM 将为“0”，因此，按键指示灯 Y8.0 将以 1Hz 频率闪烁。如 CNC 的 AUTO 操作方式已经生效，则 MMEM 将为“1”，按键指示灯 Y8.0 保持亮。



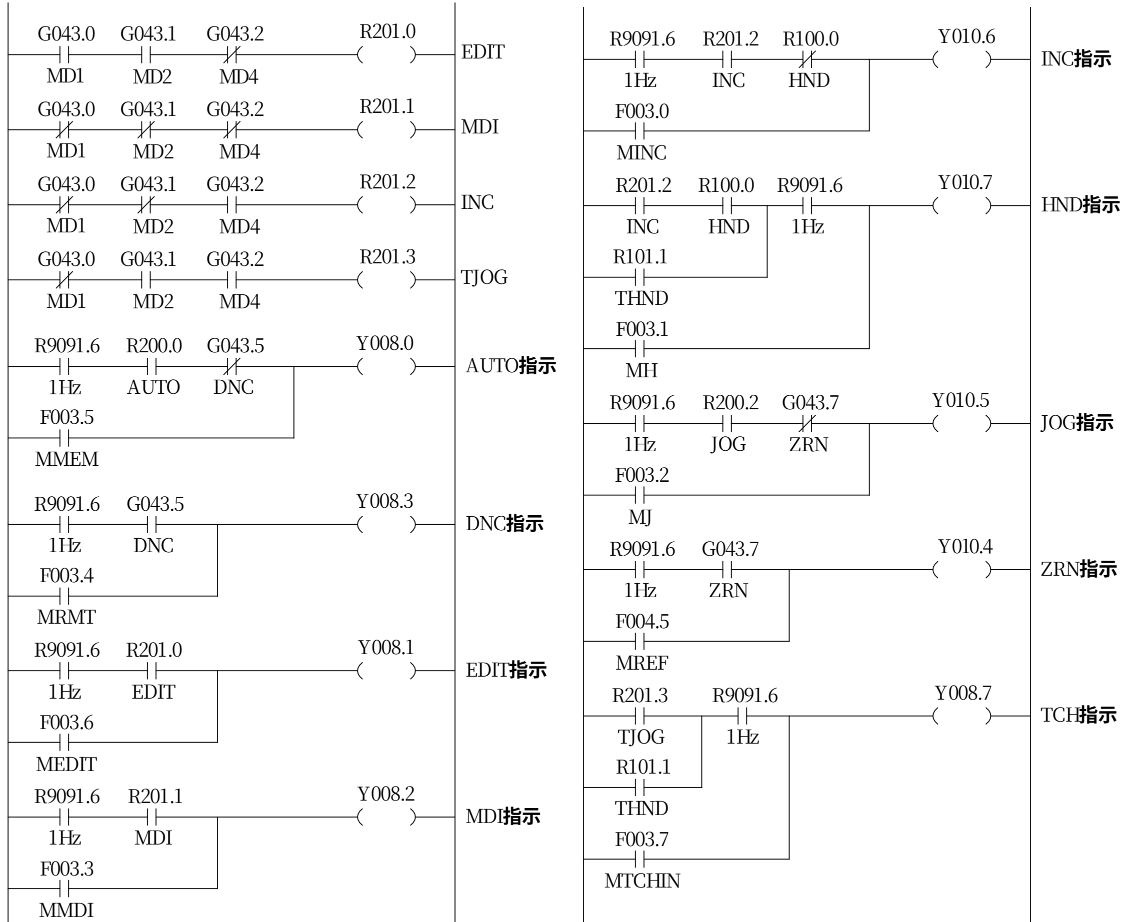


图 4-12　指示灯控制程序

4.3　手动进给控制程序典例

4.3.1　程序设计要求

FANUC 系统的坐标轴手动进给包括手动连续进给（JOG）、手动回参考点（ZRN 或 REF）、手动增量进给（INC）、手轮进给（HND）4 种。在配套 FANUC 主面板的数控机床上，不同手动进给方式的操作过程如下。

1. JOG/ZRN 操作

配套 FANUC 主面板的数控机床的 JOG、ZRN 操作步骤如表 4-7 所示。

表 4-7　JOG/ZRN 操作步骤

面板操作	操作说明	备　　注
REF　JOG　INC　HANDLE	按【JOG】或【REF】键，选择 JOG 或 REF 方式	操作方式必须在按方向键前选定

（续）

面板操作	操作说明	备　　注
10 20 30 40 50 60 70 80 90 95 100 105 110 120 8 6 4 2 1 0 (%)	1. 通过倍率开关选择移动速度 2. 运动过程中速度可随时调节	倍率开关 100% 位置的速度，通过 CNC 参数 PRM1423 设定
X Y Z 4 5 6	1. 利用轴选择键选定运动轴 2. 按键上的指示灯亮	
+ RAPID −	按下方向键，选定轴即向指定方向或回参考点规定方向运动	同时按下【RAPID】键，轴以 CNC 参数 PRM1424 设定的手动快速运动

2. INC/HND 操作

INC 是利用面板按键手动定量移动坐标轴的一种方法，其运动轴、方向、移动量均可通过按键选择。HND 是通过手轮控制移动距离、方向的一种方法，手轮轴、每格移动量可通过选择开关选择。INC/HND 操作步骤如表 4-8 所示。

表 4-8　INC/HND 操作步骤

面板操作	操作说明	备　　注
REF JOG INC HANDLE	按【INC】或【HND】键，选择 INC 或 HND 方式	操作方式必须在按方向键前选定
×1 ×10 ×100 ×1000 ×1 ×10 ×100	1. 按增量进给距离选择键，选定增量移动距离 2. 利用手轮倍率选择键选择手轮倍率	移动距离、手轮倍率是坐标轴最小移动量的倍率
X Y Z 4 5 6 X Y Z 4	1. 利用轴选择键选定 INC 运动轴 2. 利用手轮轴选择开关选择手轮运动轴	

（续）

面板操作	操作说明	备　注
+ RAPID − FANUC	1. INC 操作按方向键，所选轴运动指定距离 2. HND 操作旋转手轮，控制方向和距离	

3. PMC 地址与信号要求

在配套 FANUC 主面板 B 的数控机床上，假设 CNC 上的 PMC 配置参数所设定的面板输入起始地址为 m＝20，输出起始地址为 n＝8，对照图 4-7b 的地址分配表，可得到手动操作按键和指示灯的 PMC 编程 I/O 地址如表 4-9 所示。

表 4-9　手动操作按键/指示灯的 I/O 地址表

选择键/指示灯		PMC 地址（m＝20/n＝8）		适用操作			
名　称	安装位置	按键输入	指示灯输出	JOG	REF	INC	HND
X	B9	X29.4	Y13.4	●	●	●	×
Y	B10	X29.5	Y13.5	●	●	●	×
Z	B11	X29.6	Y13.6	●	●	●	×
4	C9	X30.0	Y14.0	●	●	●	×
5	C10	X30.1	Y14.1	●	●	●	×
6	C11	X30.2	Y14.2	●	●	●	×
+	D9	X30.4	Y14.4	●	●	●	×
RT	D10	X30.5	Y14.5	●	●	●	×
—	D11	X30.6	Y14.6	●	●	●	×
×1	B5	X27.0	Y11.0	×	×	●	×
×10	B6	X27.1	Y11.1	×	×	●	×
×100	B7	X27.2	Y11.2	×	×	●	×
×1000	B8	X27.3	Y11.3	×	×	●	×
HX	手轮盒	X22.0①	—	×	×	×	●
HY	手轮盒	X22.1①	—	×	×	×	●
HZ	手轮盒	X22.2①	—	×	×	×	●
H4	手轮盒	X22.3①	—	×	×	×	●
H5	手轮盒	X22.4①	—	×	×	×	●
H6	手轮盒	X22.5①	—	×	×	×	●
×1	手轮盒	X21.5①	—	×	×	×	●
×10	手轮盒	X21.6①	—	×	×	×	●
×100	手轮盒	X21.7①	—	×	×	×	●
HND	手轮盒	—	Y13.3	×	×	×	●

① 参考地址，用户可根据需要改变。



根据第 3 章 3.2 节的 PMC-CNC 接口信号要求，CNC 手动进给操作的坐标轴控制信号的 PMC 输出地址如表 4-10 所示。

表 4-10　手动操作 PMC-CNC 接口地址表

PMC-CNC 接口信号		PMC 输出地址	适用操作			
代　号	名　称		JOG	REF	INC	HND
+X	+X 手动	G100.0	●	●	●	×
+Y	+Y 手动	G100.1	●	●	●	×
+Z	+Z 手动	G100.2	●	●	●	×
+4	+4 手动	G100.3	●	●	●	×
+5	+5 手动	G100.4	●	●	●	×
+6	+6 手动	G100.5	●	●	●	×
-X	-X 手动	G102.0	●	●	●	×
-Y	-Y 手动	G102.1	●	●	●	×
-Z	-Z 手动	G102.2	●	●	●	×
-4	-4 手动	G102.3	●	●	●	×
-5	-5 手动	G102.4	●	●	●	×
-6	-6 手动	G102.5	●	●	●	×
RT	手动快速	G019.7	●	●	●	×
MP1	INC/HND 倍率 A	G019.4	×	×	●	●
MP2	INC/HND 倍率 B	G019.5	×	×	●	●
HS1A	手轮轴选择 A(第 1 手轮)	G018.0	×	×	×	●
HS1B	手轮轴选择 B(第 1 手轮)	G018.1	×	×	×	●
HS1C	手轮轴选择 C(第 1 手轮)	G018.2	×	×	×	●
HS1D	手轮轴选择 D(第 1 手轮)	G018.3	×	×	×	●
HS2A~2D	手轮轴选择 A~D(第 2 手轮)	G018.4~G018.7	×	×	×	●
HS3A~3D	手轮轴选择 A~D(第 3 手轮)	G019.0~G019.3	×	×	×	●

表 4-10 中的 INC/HND 倍率信号 MP1/MP2、手轮轴选择信号 HS1A~HS1D、HS2A~HS2D、HS3A~HS3D，在 PMC 程序中需要以二进制编码的形式输出到 CNC。信号的编码要求分别如表 4-11、表 4-12 所示。

表 4-11　INC 增量/HND 倍率信号编码表

信号	PMC 地址	信号状态			
MP1	G019.4	0	1	0	1
MP2	G019.5	0	0	1	1
INC 增量距离		1	10	100	1000
手轮每格移动量		1	10	100	—

表 4-12　手轮轴选择信号编码表

PMC 地址				手轮轴选择
G18.3/G18.7/G19.3	G18.2/G18.6/G19.2	G18.1/G18.5/G19.1	G18.0/G18.4/G19.0	
0	0	0	0	无
0	0	0	1	*X* 轴
0	0	1	0	*Y* 轴
0	0	1	1	*Z* 轴
0	1	0	0	4 轴
0	1	0	1	5 轴
0	1	1	0	6 轴



4.3.2 程序设计典例

1. 运动方向控制程序

根据表 4-7、表 4-8 的操作要求，FS-0iD 等 CNC 的 JOG、REF 及 INC 操作都需要用主面板的轴选择键【X】、【Y】、【Z】、【4】和方向键【+】、【-】控制，并使用相同的坐标轴方向选择信号。因此，对于 4 轴数控机床，可通过图 4-13 所示的 PMC 程序，来选择 CNC 的 JOG、REF 及 INC 操作的坐标轴和方向。

在图 4-13 所示的程序中，直接利用了坐标轴选择按键的指示灯输出 Y13.4 ~ Y13.6、Y14.0，来存储坐标轴选择的状态，这样可简化 PMC 程序设计，并减少内部继电器的用量，方便程序阅读。

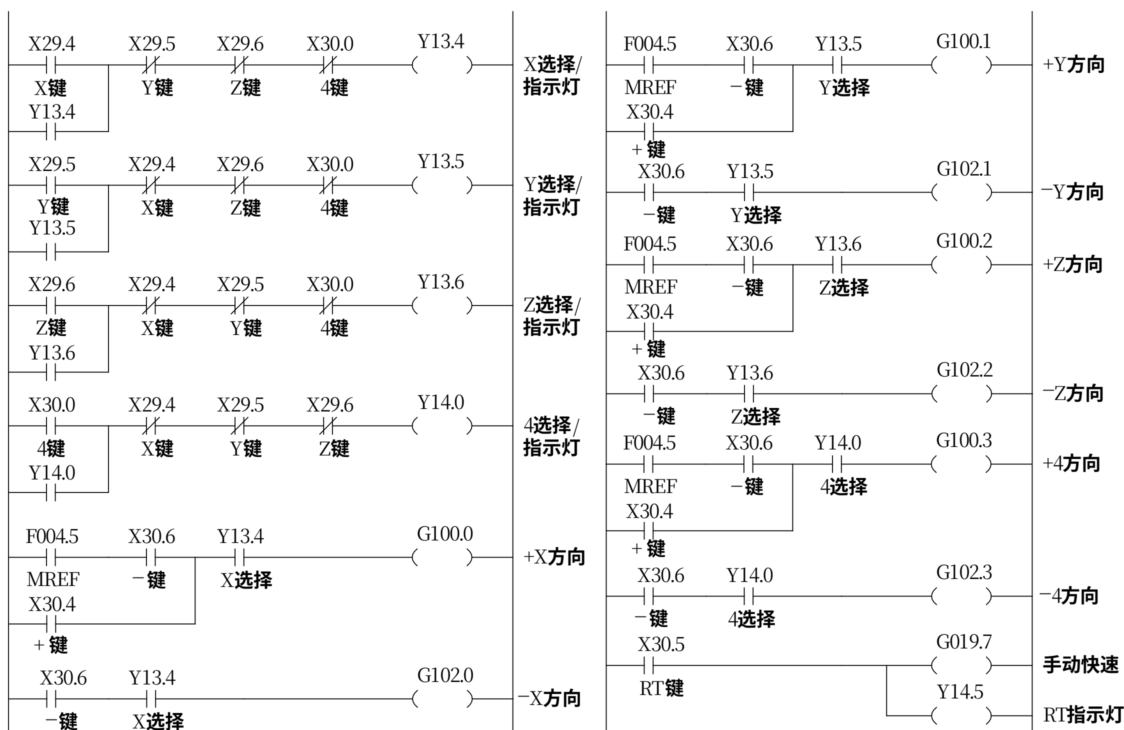


图 4-13 运动方向控制程序

此外，由于数控机床的手动回参考点只能在坐标轴指定方向上（如正向）进行，为了方便操作，图 4-13 所示的 PMC 程序可将回参考点操作方式 REF 下的按键【-】信号，自动转换成坐标轴正向控制信号，即当 CNC 操作方式为 REF 时，无论按操作面板上的【+】或【-】方向键，PMC 均可输出坐标轴正向运动信号 +X 或 +Y、+Z、+4，以保证回参考点运动方向不变。

在 FANUC 等数控系统上，为了提高坐标轴手动进给时的运动速度，可以在 JOG 操作时，通过同时按【RT】键和方向键，选择手动快速操作。因此，在图 4-13 所示的 PMC 程序中，可直接用【RT】键的输入 X30.5，产生坐标轴手动快速所需的 RT 信号（G019.7）。按键【RT】的指示灯输出 Y14.5，可直接用【RT】键的输入 X30.5 控制。



2. 手轮轴选择程序

手轮轴选择的 PMC 程序如图 4-14 所示。图中的 R100.0 为手轮操作方式选择信号，它由前述的 CNC 操作方式选择程序生成。

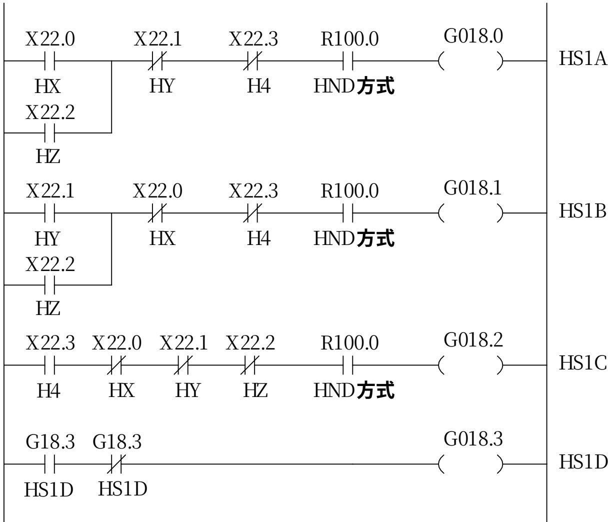


图 4-14　手轮轴选择程序

FS-0iD 等 CNC 最大可连接 3 个手轮，第 1 ~ 3 手轮所对应的手轮运动轴选择信号分别为 HS1A ~ HS1D、HS2A ~ HS2D 和 HS3A ~ HS3D。在使用 1 个手轮的数控机床上，可通过 CNC 参数的设定禁止第 2、3 手轮，无须进行 HS2A ~ HS2D 和 HS3A ~ HS3D 信号的编程。

CNC 的 HS1A ~ HS1D 信号编程非常简单，它只需要在 CNC 选定 HND 操作方式时，将来自手轮盒的轴选择开关信号 HX、HY、HZ、H4，直接转换为表 4-12 要求的二进制编码 HS1A ~ HS1D 信号便可。对于实际只使用 4 轴控制的机床，可将 HS1D 信号始终置为“0”，图中的 HS1D 信号使用了典型的恒“0”信号生成程序。

3. INC/HND 倍率调节程序

INC 增量运动距离和手轮每格移动量的倍率调节使用的是共同的控制信号 MP1/MP2。在同时使用 FANUC 主面板和手轮盒的数控机床上，INC 增量距离一般通过主面板上的按键【×1】、【×10】、【×100】、【×1000】选择，其最大增量距离可以为“移动单位 ×1000”；而手轮每格移动量则通常利用手轮盒上的开关选择，手轮每格移动量一般不超过“移动单位 ×100”。

根据以上要求设计的典型 PMC 程序，如图 4-15 所示。

在图 4-15 所示的程序中，信号 MP1（G019.4）可在 INC 增量距离选择为“×10”、“×1000”，或者，手轮每格移动量为“×10”时，输出“1”；而在 INC 增量距离或手轮每格移动量选择为“×1”、“×100”时，输出“0”。信号 MP2（G019.5）则在 INC 增量距离为“×100”、“×1000”，或者，手轮每格移动量为“×100”时，输入“1”，在 INC 增量距离或手轮每格移动量为“×1”、“×10”时，输出“0”；这样便可满足表 4-12 的要求。

图 4-15 所示的程序同样利用了按键【×1】、【×10】、【×100】、【×1000】上的指示灯输出 Y11.0 ~ Y11.3，来存储 INC 增量距离选择键的状态，以简化程序设计、减少内部继

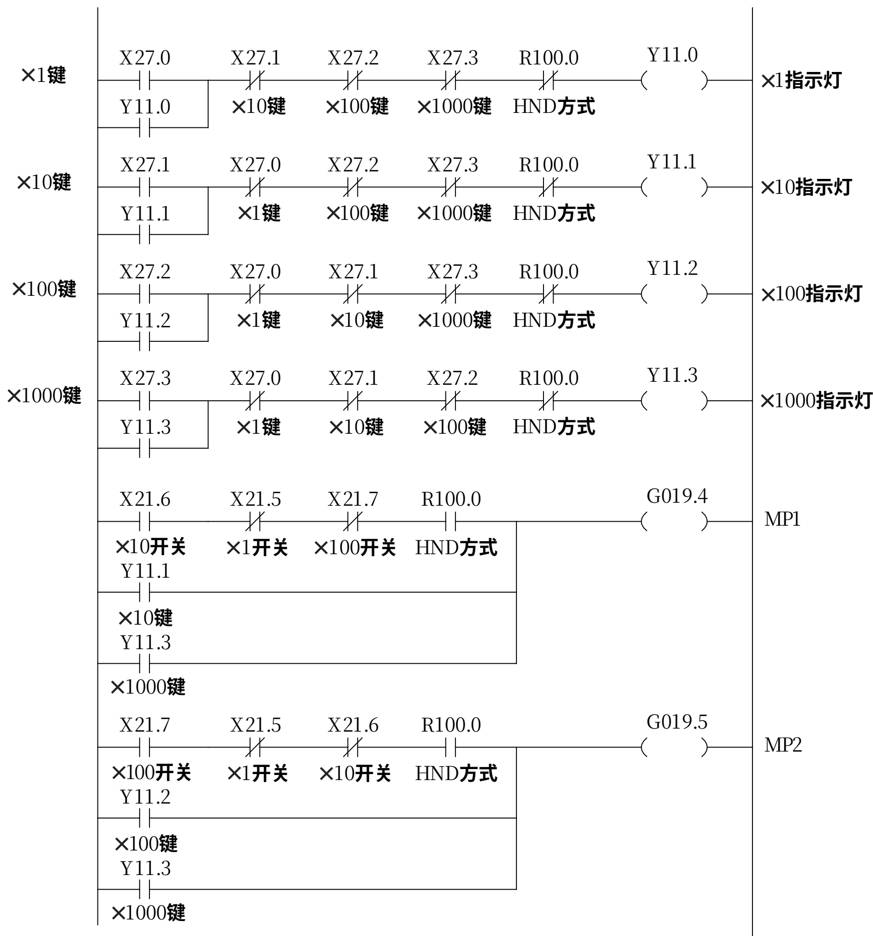


图 4-15　MP1/MP2 信号处理程序

电器用量和方便阅读。

4.4　自动运行控制程序典例

4.4.1　程序设计要求

FANUC 主面板的程序自动运行控制键包括 CNC 加工程序运行控制键及程序启停控制键，控制键及功能要求分别如下。

1. 加工程序运行控制

FANUC 主面板用于 CNC 的加工程序运行控制的按键有图 4-16 所示的 6 个，按键的作用

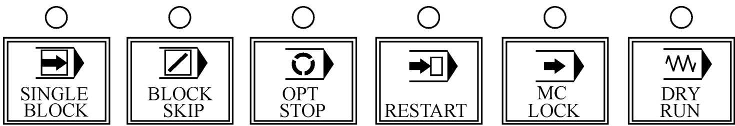


图 4-16　加工程序运行控制键



及功能分别如下。

【SINGLE BLOCK】：单程序段运行，功能生效时，CNC 可单段执行加工程序。CNC 的单程序段功能由 CNC 操作系统自动控制，PMC 程序设计时，只需要将 CNC-PMC 的接口信号 SBK 置为“1”，便可生效功能。

【BLOCK SKIP】：跳过选择程序段，功能生效时，CNC 将跳过以“/”或“/n”开始的选择程序段。CNC 的跳过选择程序段功能由 CNC 操作系统自动控制，PMC 程序设计时，只需要将 CNC-PMC 的接口信号 BDTn 置为“1”，便可生效功能。

FS-0iD 等 CNC 可根据用户需要，在操作面板上安装多个跳过选择程序段开关或按钮，利用接口信号 BDT1 ~ BDT9 分别控制“/”、“/1” ~ “/9”程序段的跳过；但在实际机床中，一般以使用一个按钮，利用 BDT1 控制“/”、“/1”程序段跳过的情况居多。

【OPT STOP】：选择暂停，功能生效时，CNC 执行辅助功能 M01 时，将进入与 M00 一样的程序暂停状态。

FS-0iD 等 CNC 的选择暂停无专门的 CNC-PMC 接口信号，因此，作为参考方法之一，可在操作按钮选定后，利用 CNC 的 M01 代码输出，生效 CNC-PMC 的接口信号 *BSL，禁止启动下一程序段，以达到程序暂停的目的。

【MC LOCK】：机床锁住。机床锁住功能一般用于坐标轴行程、刀具运动轨迹的检查，功能生效时，CNC 执行程序时，仅改变 CNC 的显示值，但机床不产生运动。CNC 的机床锁住功能由 CNC 操作系统自动控制，PMC 程序设计时，只需要将 CNC-PMC 的接口信号 MLK 置为“1”，便可禁止所有坐标轴的实际运动。如果需要，FS-0iD 等 CNC 还可通过坐标轴独立的锁住信号 MLKn（G108.0 ~ G108.4），禁止特定坐标轴的运动，此时，应将信号 MLK 置“0”、MLKn 置“1”。

【RESTART】：重新启动。程序段的重新启动通常用于程序的中间位置启动，当加工时由于刀具破损等原因，导致加工的中断时，就需要进行刀具的更换等操作；刀具更换结束后，为了避免重复加工，程序需要从中间位置启动。程序的中间位置启动时，需要有与程序完整执行同样的模态 G、M、B 等代码状态，因此，必须对启动程序段前的程序段进行模拟运行。程序重新启动功能由 CNC 操作系统自动控制，PMC 程序设计时，只需要将 CNC-PMC 的接口信号 SRN 置为“1”，便可执行重新启动功能，使得程序从指定位置开始运行。

【DRY RUN】：试运行。试运行（亦称空运行）功能用于程序的检查，功能生效时，CNC 可用 JOG 进给速度，代替程序中的进给速度 F 代码，以便随时控制、调节并提高刀具的运动速度，加速程序检查过程。试运行功能由 CNC 操作系统自动控制，PMC 程序设计时，只需要将 CNC-PMC 的接口信号 DRN 置为“1”，便可执行试运行功能。

2. 加工程序启停控制

FANUC 主面板用于 CNC 加工程序启停控制的按键有图 4-17 所示的 3 个，按键的作用及功能如下。

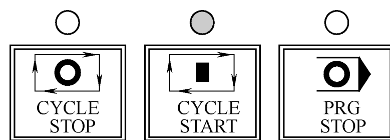


图 4-17　加工程序启停控制键

【CYCLE STOP】：循环停止。循环停止习惯上称为进给保持（F. HOLD），功能生效时，CNC 将停止程序的自动执行、进入暂停状态。对于一般的加工，循环停止一旦生效，坐标轴将立即减速停止；但是，对于螺纹切削加工、攻螺纹等特殊的固定循环指令，原则上需要执行完加工程序指令后，才能进入循环停止状态。循环停止后，CNC 的

加工程序可通过循环启动键重新启动。

【CYCLE START】：循环启动。功能生效时，CNC 将自动执行加工程序，或者，重新启动被循环停止键【CYCLE STOP】、程序停止键【PRG STOP】所中断的加工程序。加工程序的执行过程，可通过单程序段、试运行等程序运行键控制。

【PRG STOP】：程序停止。由于理解上的差异，该键在不同数控机床上的功能可能有所不同。作为通常的做法，一般可将【PRG STOP】键视作与加工程序中的程序停止指令 M00 具有相同的功能，因此，当功能生效时，CNC 可在现行加工程序段执行完成后，进入暂停状态，以区别【CYCLE STOP】键。

3. PMC 信号与地址

以上控制按键、指示灯信号，在主面板的输入起始地址设定为 m = 20，输出起始地址设定为 n = 8 时，其 PMC 编程的 I/O 地址如表 4-13 所示。

表 4-13　加工程序运行控制信号 I/O 地址

控制功能	操作按键	代号	安装位置	按键地址	指示灯地址
单程序段	【SINGLE BLOCK】	SBK	B1	X24.4	Y8.4
跳过选择段	【BLOCK SKIP】	BDT	B2	X24.5	Y8.5
选择暂停	【OPT STOP】	OPT	B3	X24.6	Y8.6
重新启动	【RESTART】	SRN	C1	X25.0	Y9.0
机床锁住	【MC LOCK】	MLK	C2	X25.1	Y9.1
试运行	【DRY RUN】	DRN	C3	X25.2	Y9.2
循环停止	【CYCLE STOP】	FHL	E1	X26.0	Y10.0
循环启动	【CYCLE START】	CST	E2	X26.1	Y10.1
程序停止	【PRG STOP】	PSP	E3	X26.2	Y10.2

实现以上 CNC 加工程序运行及启停控制功能的 PMC 控制信号及 CNC 的工作状态信号如表 4-14 所示。

表 4-14　加工程序运行控制 PMC 信号及 CNC 信号

功　能	PMC 控制信号		CNC 状态信号		功能说明
	代号	地址	代号	地址	
单程序段	SBK	G046.1	MSBK	F004.3	SBK 为“1”，单段执行程序
跳过选择段	BDT1	G044.0	MBDT1	F004.0	BDT1 为“1”，跳过“/”程序段
选择暂停	*BSL	G008.3	—	—	无专门选择暂停控制信号。可在 M01 生效时，通过 *BSL 禁止启动下一程序段，实现暂停
	M01 代码输出		DM01	F009.6	
机床锁住	MLK	G044.1	MMLK	F004.1	MLK 为“1”，机床锁住
重新启动	SRN	G006.0	SRNMV	F002.4	SRN 为“1”，执行程序重新启动
试运行	DRN	G046.7	MDRN	F002.7	DRN 为“1”，执行程序试运行
循环停止	*SP	G008.5	SPL	F000.4	*SP 为“0”，循环停止
循环启动	ST	G007.2	STL	F000.5	ST 为“1”，循环启动
程序停止	*BSL	G008.3	—	—	无专门程序停止控制信号。可通过 *BSL 禁止启动下一程序段，停止程序
	M00 代码输出		DM00	F009.6	



4.4.2　程序设计典例

1. 加工程序运行控制

在 FANUC 系统上，单程序段、跳过选择段等 CNC 加工程序运行控制都可直接通过 CNC 操作系统的控制实现，PMC 程序设计时，只需要输出对应的 PMC 控制信号，其 PMC 程序设计较为简单。

图 4-18 是实现 CNC 加工程序运行控制的 PMC 程序典例。程序中的单程序段、跳过选择段、重新启动、机床锁住、试运行等控制信号都采用了交替通断控制的典型程序，操作按键可使相应的 PMC 输出信号的状态，进行“1”和“0”的交替变化，以便生效或撤销相关加工程序调试控制功能。

选择暂停控制无对应的控制信号，操作按键可使 R210. 5 的状态，进行“1”和“0”的交替变化，以便通过下述的加工程序启停控制，控制程序段的启动互锁信号。

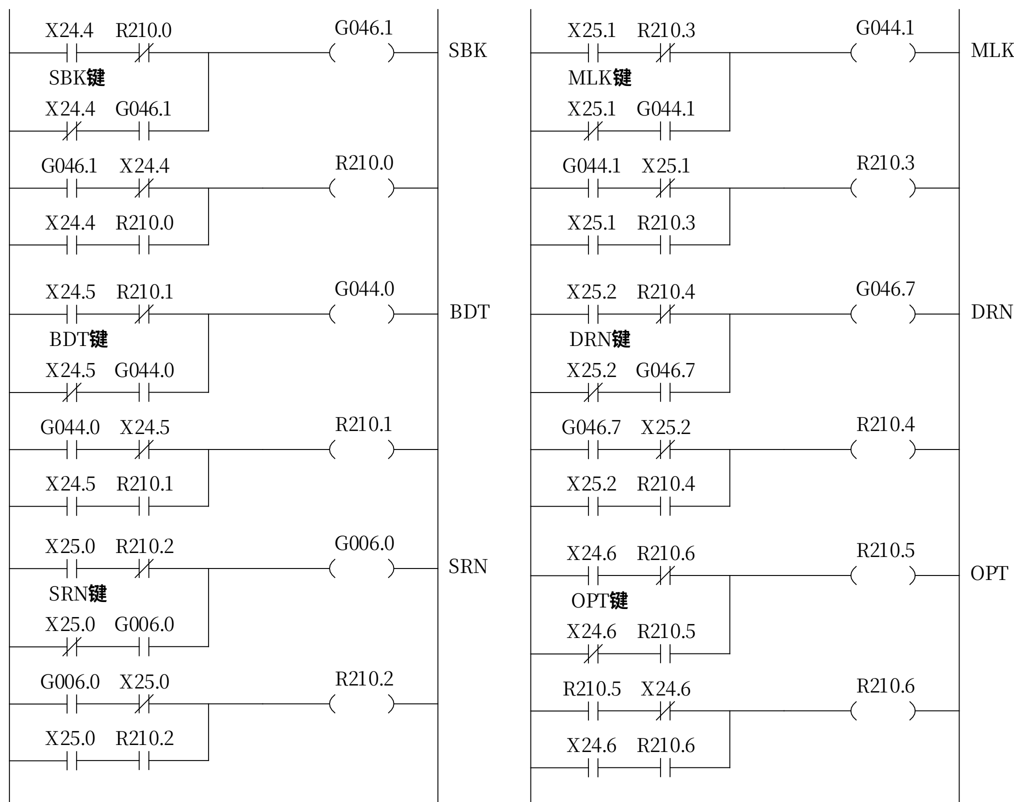


图 4-18　加工程序运行控制程序

2. 加工程序启停控制

加工程序的启停可通过 PMC 的循环启动信号 ST、进给保持信号 * SP 及程序段启动互锁信号 * BSL 控制。其中，* SP、* BSL 为负逻辑输入，如信号状态为“0”，将停止进给或禁止下一程序段的启动；ST 为下降沿有效，当 * SP、* BSL 信号的状态为“1”时，可通过下降沿启动程序运行。

图 4-19 是实现 CNC 加工程序启停控制的 PMC 程序典例。

该程序中的程序段启动互锁信号 * BSL，可通过主面板上的程序停止键【PRG STOP】（X26.2）或 CNC 加工程序中的 M00 代码输出（F009.7）直接控制；如主面板上的选择暂停键【OPT STOP】有效，还可通过 CNC 加工程序中的 M01 代码输出（F009.6）生效启动互锁功能。

启动互锁有效时，程序中的 R000.0 状态将为“1”，使 * BSL 成为“0”，禁止下一程序段的启动。R000.0 具有自保持功能，它需要通过主面板的循环启动键【CYCLE START】予以撤销，以使加工程序继续运行。

PMC 的循环启动信号 ST、进给保持信号 * SP，主要由主面板的循环启动键【CYCLE START】、循环停止键【CYCLE STOP】控制，但受程序启动条件 R000.1 的约束。如机床或 CNC 不具备自动运行的启动条件，则通过其他 PMC 程序，使 R000.1 为“0”，循环启动操作将无效，PMC 输出循环停止信号 * SP。启动条件 R000.1 的控制因机床而异，在此难以一一尽述。

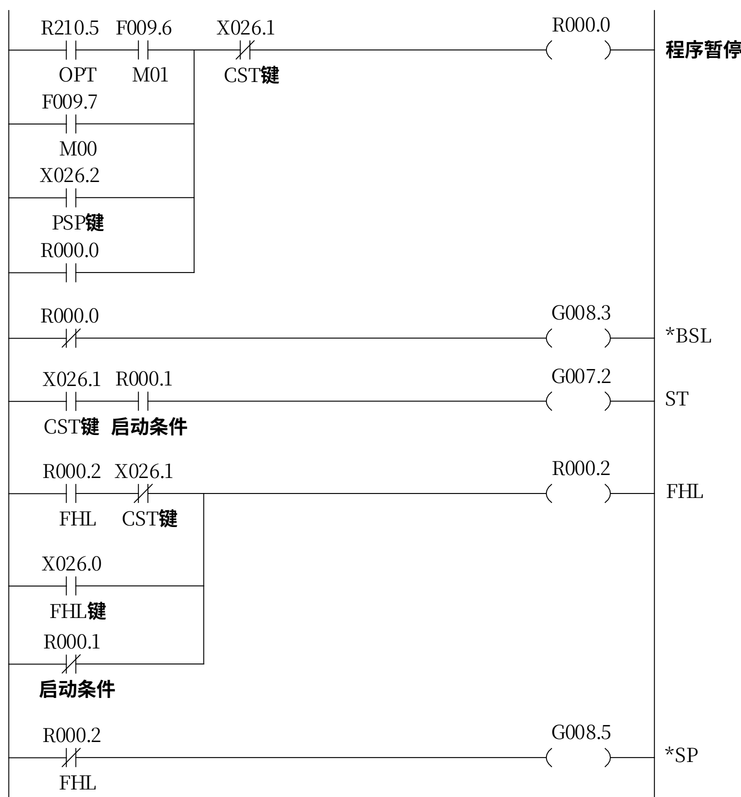


图 4-19　加工程序启停控制程序

3. 指示灯输出

以上加工程序运行控制键的指示灯输出 PMC 程序如图 4-20 所示。

部分指示灯有 1Hz 闪烁和“亮”2 种输出状态，当主面板的按键已操作，但 CNC 的实际功能未生效时，指示灯为 1Hz 闪烁；CNC 功能生效后，则变为“亮”。



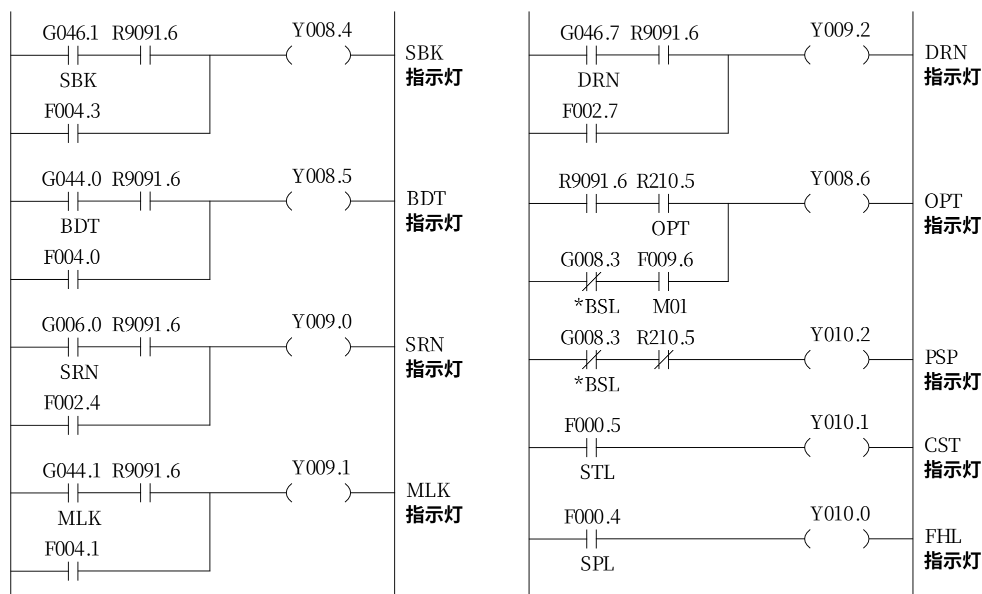


图 4-20　指示灯输出程序

4.5　FANUC 子面板程序典例

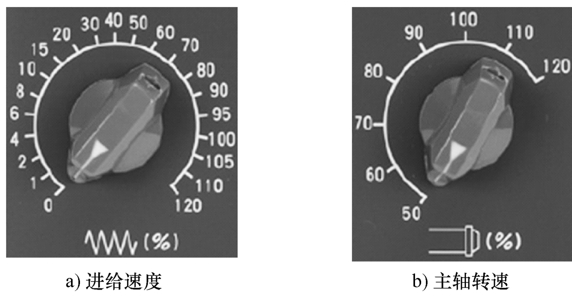
4.5.1　程序设计要求

1. 基本要求

在配套 FANUC 子面板的数控机床上，子面板上的急停和 CNC 电源通/断按钮，一般直接与机床的电气柜连接，用于强电控制；面板上的进给速度倍率开关、主轴倍率开关及存储器保护开关，则需要进行 PMC 编程。

存储器保护开关的程序设计非常简单，只需要将开关输入转换为 PMC 信号 KEY1（G046.3），便可实现功能，本节将不再对此进行说明。

FANUC 子面板的手动进给、切削进给和快速进给的速度倍率调节，共同使用图 4-21a 所示的 21 位波段开关，其倍率调节范围为 0～120%；主轴转速倍率调节使用的是图 4-21b 所示的 8 位波段开关，其倍率调节范围为 50%～120%。2 只倍率开关的输入信号均为表 4-1 和表 4-2 所示的格雷码。



a) 进给速度　b) 主轴转速

图 4-21　子面板倍率调节开关

根据第 3 章 3.2 节的 PMC-CNC 接口信号要求，FS-0iD 等 CNC 对 PMC 的手动进给速度倍率、切削进给速度倍率、快速进给速度倍率以及主轴转速倍率的信号输入要求如表 4-15 所示。

表 4-15 CNC 的倍率控制信号表

控制信号	代 号	PMC 地址	信号要求
手动进给速度倍率	* JV15 ~ * JV0	G011.7 ~ G010.0	16 位二进制编码、负逻辑输入;单位 0.01%
切削进给速度倍率	* FV7 ~ * FV0	G012.7 ~ G012.0	8 位二进制编码、负逻辑输入;单位 1%
快速进给速度倍率	HROV7	G096.7	输入为“1”时, * HROV6 ~ * HROV0 有效
	ROV2/ROV1	G014.1/G014.0	HROV7 为“0”时有效
	* HROV6 ~ HROV0	G096.6 ~ G096.0	7 位二进制编码、负逻辑输入;单位 1%
主轴转速倍率	SOV7 ~ SOV0	G030.7 ~ G030.0	8 位二进制编码、正逻辑输入;单位 1%

2. 手动进给速度倍率

CNC 出厂默认的手动进给速度倍率调节信号 * JV15 ~ * JV0 为负逻辑、16 位二进制编码输入，倍率的单位为 0.01%。

16 位二进制输入信号的数值范围应为 0 ~ 65535，但 CNC 规定：当 * JV15 ~ * JV0 信号的所有输入位均为“0”（输入 0）或均为“1”（输入 65535）时，对应的倍率为 0。因此，JOG 速度倍率的实际调节范围为 0 ~ 655.34%。

手动进给速度倍率 JV% 和 PMC 信号的关系如下，当采用负逻辑输入时，式中的 JV_i 为实际输入信号 * JV_i 的逻辑“非”状态。

$$\mathrm{JV}\ \% = 0.01 \times \sum_{0}^{15} 2^i \times (JV_i)\ \%$$

3. 切削进给速度倍率

CNC 出厂默认的切削进给速度倍率调节信号 * FV7 ~ * FV0 为负逻辑、8 位二进制编码输入，倍率单位为 1%，并规定 * FV7 ~ * FV0 信号的所有输入位均为“0”（输入 0）或均为“1”（输入 255）时的倍率为 0；因此，实际切削进给速度倍率的调节范围为 0 ~ 254%。

切削进给速度倍率 FV% 和 PMC 信号的关系如下，采用负逻辑输入时，式中的 FV_i 为实际输入信号 * FV_i 的逻辑“非”状态。

$$\mathrm{FV}\ \% = \sum_{0}^{7} 2^i \times (FV_i)\ \%$$

4. 快速进给速度倍率

FS-0iD 等 CNC 的快速进给速度倍率调节，可通过 PMC 信号 HROV7（G096.7），选择如下两种方法，对于采用 FANUC 子面板的数控机床，以使用方法 2 较为方便。

1）HROV7 = 0：利用 PMC 信号 ROV1/ROV2（G014.0/G014.1）的二进制编码输入，进行传统的 4 级快进速度调节，4 级速度倍率分别为 F0、25%、50%、100%；其中的 F0 速度可直接通过 CNC 的参数予以设定。

2）HROV7 = 1：利用信号 * HROV6 ~ * HROV0（G096.6 ~ G096.0）、以 1% 为单位，进行多级快进速度调节。CNC 出厂默认的 * HROV6 ~ * HROV0 信号负逻辑、7 位二进制编码输入，并规定信号的所有输入位均为“0”（输入 0）或均为“1”（输入 127）时的倍率为 0。由于快速进给速度的倍率不能大于 100%，因此，对于倍率值大于 100% 的输入，CNC 可自动将其限制在 100% 上，故其倍率调节范围为 0 ~ 100%。

快速进给速度倍率 ROV% 和 PMC 信号的关系如下，采用负逻辑输入时，式中的 ROV_i 为实际输入信号 * ROV_i 的逻辑“非”状态。

$$ROV\ \% = \sum_{0}^{6} 2^{i} \times (ROV_{i})\ \%$$

5. 主轴转速倍率

CNC 要求的主轴转速倍率调节信号 SOV7～SOV0 为正逻辑、8 位二进制编码输入，倍率单位为 1%；并规定 SOV7～SOV0 信号的所有输入位均为“0”（输入 0）或均为“1”（输入 255）时的倍率为 0；因此，实际主轴转速倍率的调节范围为 0～254%。

主轴转速倍率 SOV% 和 PMC 信号的关系如下，由于采用正逻辑输入，故式中的 SOV_i 就是实际输入信号的状态。

$$SOV\ \% = \sum_{0}^{7} 2^{i} \times (SOV_{i})\ \%$$

4.5.2　倍率开关代码转换

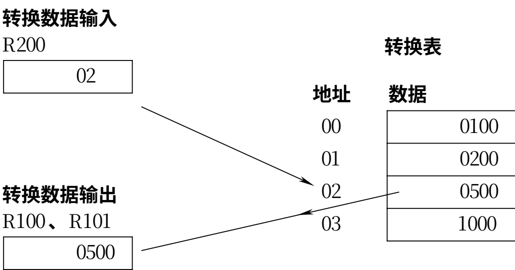
1. 代码转换

由于 FANUC 子面板上的倍率调节开关信号编码方式、倍率调节范围均和 CNC 的要求不符，因此，在 PMC 程序设计时，必须进行代码转换。

PMC 实现代码转换最简单的方法是直接使用二进制数据转换功能指令 CODB。CODB 指令的格式与功能如图 4-22 所示，它可利用数据表的方式，将任意二进制输入数据，转换为另一个二进制格式的数据输出。



a) 指令格式



b) 指令功能

图 4-22　CODB 指令的格式与功能

CODB 指令中的数据格式用来定义数据表中的数据长度，设定值 1、2、4 代表数据表中的数据长度为 1 字节、2 字节、4 字节（二进制）。虽然数据表中的数据、转换后得到的输出存储器数据实际均以二进制格式存储，但在指令编程及程序输入编辑时，数据表中的数据一般都用十进制常数的形式表示。

通过使用 CODB 指令，在 PMC 程序中便可将倍率开关的格雷码输入作为指令的转换数

据输入（数据表地址）；而将 CNC 所要求的二进制编码信号，定义为转换表中的数据。这样，便可将倍率开关的输入信号转换为 CNC 要求的二进制编码信号，并在转换结果存储器上输出。对于使用负逻辑的 PMC 信号，则可进一步利用二进制取反运算指令 NOT（SUB62），将转换结果数据取反后作为 PMC 的输出。

2. 数据表定义

CODB 指令的数据表用来建立输入数据（地址）和输出数据（转换结果）的对应关系，输入数据和输出数据间无规定的运算规则，但是，数据表中的数据必须按照地址（输入数据）的次序依次排列。

以进给倍率调节开关用于手动进给速度倍率调节信号 * JV15 ~ * JV0、进给速度倍率调节信号 * FV7 ~ * FV0 的控制为例，因为来自 FANUC 子面板的进给速度倍率调节开关输入为表 4-1 所示的 6 位格雷码信号，故需要通过 PMC 程序的设计，将其转换为 CNC 所需的二进制编码信号。

分析表 4-1 所示的 6 位格雷码信号可知，输入 Xm + 0. 5 为奇偶校验位，它与数据转换无关，编程时一般可不予考虑。由于 CODB 指令要求转换表中的数据按转换数据输入（地址）的大小依次排列，因此，在主面板 PMC 输入起始地址定义为 m = 20 时，如将倍率开关输入的格雷码信号，按其二进制值重新排序，便可得到表 4-16 所示的 JV15 ~ JV0 及 FV7 ~ FV0 信号转换表。表中的二进制值 16 ~ 23、28、29 无对应的格雷码输入，其数据表中的转换数据值可设定为 0。此外，由于 * JV15 ~ * JV0 信号的倍率单位为 0. 01%，而倍率开关的倍率单位为 1%，因此，进行 JV15 ~ JV0 数据转换时，数据表中的数据应为开关倍率的 100 倍；而 FV7 ~ FV0 的单位与开关一致，故无须扩大。

表 4-16　进给速度倍率信号转换表

格雷码信号输入						倍率开关		转换表数据	
二进制值	X20. 4	X20. 3	X20. 2	X20. 1	X20. 0	位置	倍率	转换为 JV*i*	转换为 FV*i*
0	0	0	0	0	0	1	0%	0	0
1	0	0	0	0	1	2	1%	100	1
2	0	0	0	1	0	4	4%	400	4
3	0	0	0	1	1	3	2%	200	2
4	0	0	1	0	0	8	15%	1500	15
5	0	0	1	0	1	7	10%	1000	10
6	0	0	1	1	0	5	6%	600	6
7	0	0	1	1	1	6	8%	800	8
8	0	1	0	0	0	16	90%	9000	90
9	0	1	0	0	1	15	80%	8000	80
10	0	1	0	1	0	13	60%	6000	60
11	0	1	0	1	1	14	70%	7000	70
12	0	1	1	0	0	9	20%	2000	20
13	0	1	1	0	1	10	30%	3000	30
14	0	1	1	1	0	12	50%	5000	50
15	0	1	1	1	1	11	40%	4000	40
16 ~ 23	—	—	—	—	—	—	0	0	0
24	1	1	0	0	0	17	95%	9500	95
25	1	1	0	0	1	18	100%	10000	100
26	1	1	0	1	0	20	110%	11000	110
27	1	1	0	1	1	19	105%	10500	105
28、29	—	—	—	—	—	—	0	0	0
30	1	1	1	1	0	21	120%	12000	120



4.5.3　程序设计典例

1. 进给速度倍率转换

FANUC 子面板的进给速度倍率开关同时用于手动进给速度、切削进给速度和快速进给速度倍率的调节，因此，PMC 程序需要将开关输入转换为 * JV15 ~ * JV0、* FV7 ~ * FV0 和 ROV7/ * ROV6 ~ * ROV0 信号。实现进给速度倍率信号转换的典型 PMC 程序如图 4-23 所示，程序说明如下。

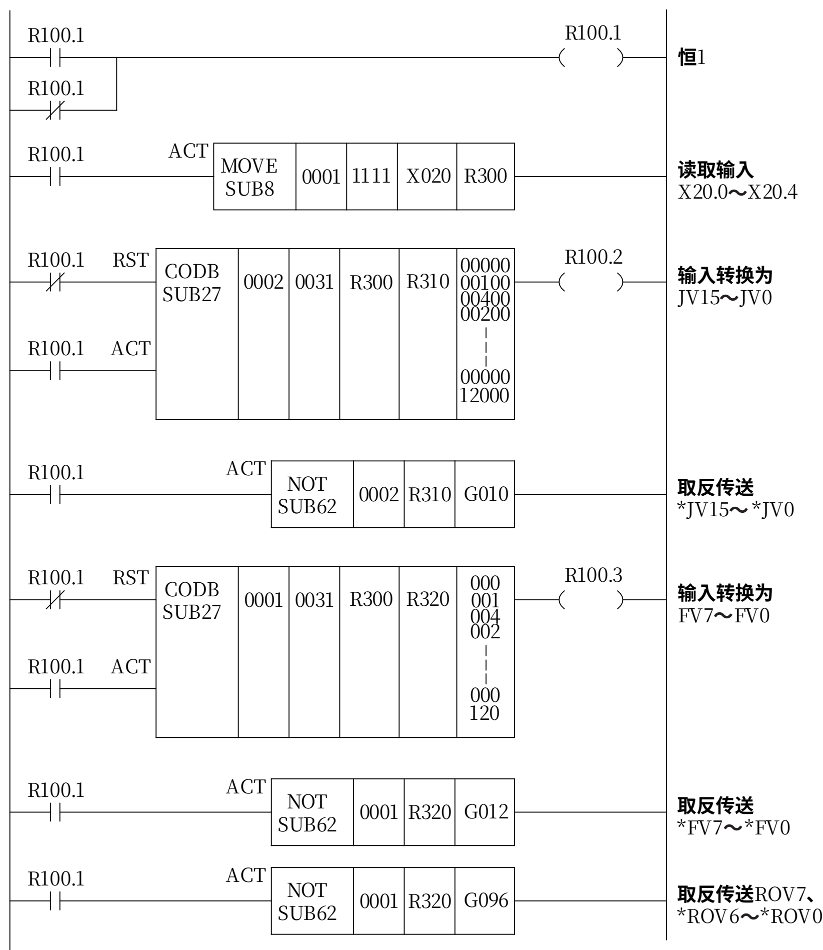


图 4-23　进给速度倍率信号转换程序

1）程序的第 1 段是在 R100. 1 上生成恒“1”状态的典型程序，有关内容可参见第 2 章 2. 2. 3 节。

2）程序的第 2 段用于倍率开关有效输入信号的读取。由于 PMC 的输入字节 X20 中，只有 X20. 4 ~ X20. 0 为倍率开关的有效输入，故需要通过 PMC 的字节逻辑“位与”运算指令 MOVE（SUB8，亦称数据移动指令），读取有效输入位，并将其保存到数据转换指令的输入数据（地址）存储器 R300 上。

执行程序中的 MOVE 指令，可使输入字节 X20 的高 4 位和低 4 位信号输入，分别和

“0001”、“1111”进行逻辑“位与”运算；因此，执行指令后，R300.7 ~ R300.5 的状态将为“0”，而 R300.4 ~ R300.0 的状态则与输入 X20.4 ~ X20.0 一致。

3）程序的第 3 段用于倍率开关的信号编码转换，执行指令 CODB，将以 R300 的二进制输入状态为地址，依次读出数据表中的对应数据；并将这一数据以二进制的格式，保存到 2 字节内部继电器 R311/R310 上。因此，指令中的数据表数据，应根据表 4-16，按格雷码所对应的二进制值依次排列，并将地址 16 ~ 23、28、29 对应的数据设为“0”。

4）程序的第 4 段用于 * JV15 ~ * JV0 信号输出，由于 CNC 出厂默认的 * JV15 ~ * JV0 为负逻辑，故需要通过 2 字节逻辑“位非”运算指令 NOT（SUB62），将转换结果存储器 R311/R310 的内容取反，然后输出到 CNC 接口信号 G011/G010 上。

5）程序的第 5、6 段用于 * FV7 ~ * FV0 信号的转换与输出，其作用与第 3、4 段相同，但其转换数据的字长为 1 字节，数值应按照表 4-16 中 FVi 栏的要求输入。数据转换结果存储器为 R320，CNC 接口信号为 G012。

6）程序的第 7 段用于 ROV7、* ROV6 ~ * ROV0 信号的输出。由于 FVi 转换数据表中的数值范围为 1 ~ 120，它对应的二进制值范围为 0000 0001 ~ 0111 1000；故其转换结果存储器 R320 的最高位 R320.7 总是为 0，取反后则为 1，因此，也可直接将 FV7 ~ FV0 的转换结果，作为快速进给速度倍率的倍率信号，然后输出到 CNC 接口信号 G096 上。

2. 主轴转速倍率转换

子面板的主轴转速倍率调节开关输入为表 4-2 中的 6 位格雷码信号，其中的 Xm + 1.2 为奇偶校验位；X m + 1.1 和 X m + 1.3 实际不使用，因此，编程时只需要将 Xm + 0.6、Xm + 0.7、Xm + 1.0 这 3 位输入转换为 CNC 的主轴转速倍率调节信号 SOV7 ~ SOV0。

与进给速度倍率调节开关一样，当主面板的 PMC 输入起始地址设定为 m = 20 时，如将主轴转速倍率开关输入的格雷码信号，按二进制值大小重新排序，便可得到表 4-17 所示的主轴转速倍率信号 SOV7 ~ SOV0 的转换表。

表 4-17　主轴转速倍率信号转换表

格雷码信号输入				倍率开关		转换表数据
二进制值	X21.0	X20.7	X20.6	位置	倍率	
0	0	0	0	1	50%	50
1	0	0	1	2	60%	60
2	0	1	0	4	80%	80
3	0	1	1	3	70%	70
4	1	0	0	8	120%	120
5	1	0	1	7	110%	110
6	1	1	0	5	90%	90
7	1	1	1	6	100%	100

实现主轴转速倍率调节信号 SOV7 ~ SOV0 转换的典型 PMC 程序如图 4-24 所示。程序的设计思想与进给速度倍率调节程序相同，但由于主轴转速倍率调节信号 SOV7 ~ SOV0 使用

的是正逻辑输入，因此，数据转换结果可直接输出到 CNC 接口信号 G030 上，无须使用中间结果寄存器及进行“位非”运算等处理。

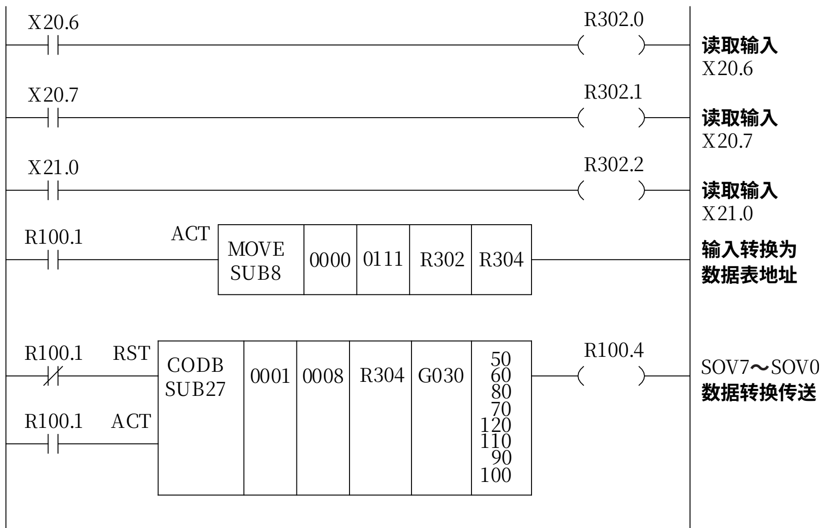


图 4-24　主轴转速倍率信号转换程序

4.6　用户面板控制程序典例

4.6.1　用户面板设计

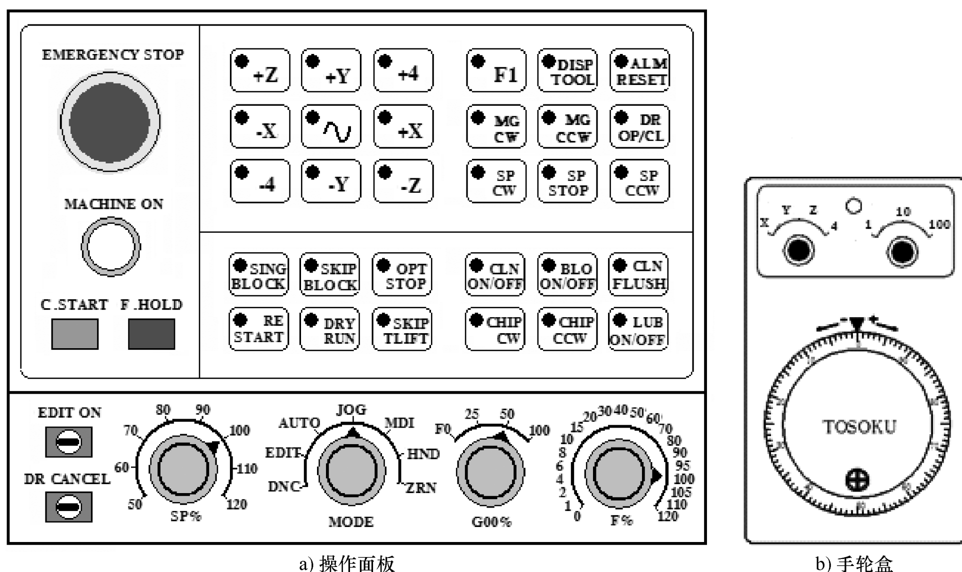
1. 面板设计

FANUC 主面板、子面板可以通过 I/O-Link 总线与 PMC 进行直接连接，其结构紧凑、外形美观、使用方便、器件质量好、可靠性高，但价格相对较贵。因此，对于大批量生产的产品，机床生产厂家经常自行设计、制造机床操作面板；或者，使用专业厂家仿照 FANUC 布局设计的机床操作面板；此类面板简称“用户面板”

图 4-25 为一种仿照 FANUC 主操作面板布局设计的用户机床操作面板和悬挂式手轮操作盒示例，该操作面板由机床生产厂家根据机床的实际要求设计，并委托专业生产厂家批量制作。机床操作面板基本沿袭了 FANUC 面板的布局形式，其功能可替代 FANUC 主面板和子面板的大部分常用按键、开关和指示灯，故在国产机床中的用量较大。但是，如前所述，用户自行设计的机床操作面板无 I/O-Link 总线接口，它不能直接与 PMC 的总线连接，使用时必须选配 FANUC 操作面板 I/O 或 0i-I/O 等 I/O 单元。

图 4-25 所示的操作面板布置有机床急停（EMERGENCY STOP）和机床启动（MACHINE ON）按钮；这两个按钮需要通过独立的连接电缆，与机床的强电控制回路进行连接。出于操作、维修、可靠性等方面的考虑，机床正常工作时最常用的循环启动（C. START）、进给保持（F. HOLD）按钮及带钥匙的存储器保护（EDIT ON）、防护门保护解除（DR CANCEL）旋钮，采用了独立按钮；其他操作键均为带 LED 指示的标准按键。面板上的主轴倍率（SP%）、进给倍率（F%）、快速倍率（G00%）调节及 CNC 操作方式选

择开关，均采用了传统二进制编码的波段开关。



a) 操作面板　　b) 手轮盒

图 4-25　用户操作面板和手轮盒示例

为了安装薄膜按键和便于面板的安装、连接和维修，操作面板的背面带有印制电路板，薄膜按键直接安装在印制板上；按钮、波段开关等则通过印制板上的连接器进行连接。此外，为了简化接线，印制板上还设计有面板与 0i-I/O 单元直接连接的连接器 CB104、CB107，及连接手轮盒的过渡连接器。

2. 结构特点

该用户面板的结构特点，以及它与 FANUC 主面板、子面板在 PMC 程序设计时的主要区别如下。

1）操作方式选择。面板上的操作方式选择采用了传统的二进制编码波段开关，取代 FANUC 主面板的按键操作。该开关为 8 个位置的 3 位二进制编码信号输出。

2）坐标轴手动操作。机床的坐标轴手动操作采用了独立的【+X】、【-X】、【+Y】、【-Y】、【+Z】、【-Z】、【+4】、【-4】手动操作键，以取代 FANUC 主面板的【X】、【Y】、【Z】、【4】等坐标轴选择键和【+】、【-】键，手动操作可直接进行。

3）进给倍率和快速进给倍率调节。面板上的进给倍率（F%）调节开关，选择了传统的二进制编码波段开关，该开关为 21 个位置的 5 位二进制编码信号输出；机床的快速倍率调节采用单独的二进制编码波段开关，该开关为 4 个位置的 2 位二进制编码信号输出，可进行 4 级传统的 F0、25%、50%、100% 快速调整。

4）主轴倍率调节。面板上的主轴倍率（SP%）选择了传统的二进制编码波段开关，该开关为 8 个位置的 3 位二进制编码信号输出。

5）手轮盒。手轮盒上的手轮轴选择开关为 4 位置独立信号输出；手轮每格移动量选择为 3 位置独立信号输出。

此外，该面板还根据机床的实际功能需要，有选择地使用了 FANUC 主面板的单程序段【SINGLE BLOCK】、跳过选择程序段【SKIP BLOCK】、程序段选择停止【OPT STOP】、程序



重新启动【RESTART】、试运行【DRY RUN】以及循环启动【C. START】、进给保持【F. HOLD】等加工程序运行控制功能。在此基础上，还根据实际需要，增加了刀具寿命管理跳过【SKIP TLIFT】、刀具表显示【DISP TOOL】、报警清除【ALM RESET】、刀库正/反转【MG CW】/【MG CCW】等机床操作键。

3. PMC 地址

以上用户面板与 CNC 操作相关的操作器件的 PMC-I/O 地址如表 4-18 所示。

表 4-18　用户面板 I/O 地址表

器件类别	代　号	功　　能	按键地址	指示灯地址
坐标轴手动进给	【+Z】	手动 *Z* 轴正向	X0. 1	Y0. 1
	【+Y】	手动 *Y* 轴正向	X0. 2	Y0. 2
	【+4】	手动 4 轴正向	X0. 3	Y0. 3
	【-X】	手动 *X* 轴负向	X0. 7	Y0. 7
	【RT】	手动快速	X1. 1	Y1. 1
	【+X】	手动 *X* 轴正向	X1. 2	Y1. 2
	【-4】	手动 4 轴负向	X1. 6	Y1. 6
	【-Y】	手动 *Y* 轴负向	X1. 7	Y1. 7
	【-Z】	手动 *Z* 轴负向	X2. 0	Y6. 0
加工程序运行控制	【C. START】	循环启动	X0. 0	Y0. 0
	【F. HOLD】	进给保持	X1. 0	Y1. 0
	【SING BLOCK】	单程序段	X2. 4	Y6. 4
	【SKIP BLOCK】	跳过选择段	X2. 5	Y6. 5
	【OPT STOP】	选择暂停	X2. 6	Y6. 6
	【RESTART】	重新启动	X7. 2	Y7. 2
	【DRY RUN】	试运行	X7. 3	Y7. 3
存储器保护	【EDIT ON】	程序编辑允许	X10. 3	—
操作方式选择	MODE	CNC 操作方式选择	X10. 5 ~ X10. 7	—
倍率调节	SP%	主轴转速倍率	X10. 0 ~ X10. 2	—
	G00%	快速倍率	X11. 6、X11. 7	—
	F%	进给倍率	X11. 0 ~ X11. 4	—
手轮盒	HX	*X* 轴手轮选择	X6. 0	—
	HY	*Y* 轴手轮选择	X6. 1	—
	HZ	*Z* 轴手轮选择	X6. 2	—
	H4	4 轴手轮选择	X6. 3	—
	×1	手轮倍率 ×1	X6. 4	—
	×10	手轮倍率 ×10	X6. 5	—
	×100	手轮倍率 ×100	X6. 6	—
	HND	手轮有效	—	Y3. 6

4.6.2 面板基本程序典例

1. 操作方式选择程序

用于 CNC 操作方式选择控制的 PMC 程序，需要将操作面板的选择开关输入，转换为 CNC 所要求的操作方式选择信号，FANUC 系统对 CNC 操作方式信号的详细要求及说明可参见 4.2 节。

上述用户操作面板上的操作方式选择开关为 8 个位置的 3 位二进制编码信号，选择开关的 PMC 输入地址和编码，以及 CNC 所要求的 PMC 输出如表 4-19 所示。

表 4-19 CNC 操作方式选择的程序设计要求表

操作方式选择开关		PMC 输入			PMC 输出					
		MC	MB	MA	MD4	MD2	MD1	DNCI	ZRN	HND 灯
位置	方式	X10.7	X10.6	X10.5	G043.2	G043.1	G043.0	G043.5	G043.7	Y003.6
1	DNC	0	0	1	0	0	1	1	0	0
2	EDIT	0	1	0	0	1	1	0	0	0
3	AUTO	0	1	1	0	0	1	0	0	0
4	JOG	1	0	0	1	0	1	0	0	0
5	MDI	1	0	1	0	0	0	0	0	0
6	HND	1	1	0	1	0	0	0	0	1
7	ZRN	1	1	1	1	0	1	0	1	0

根据表 4-19 所设计的 PMC 程序如图 4-26 所示。由于 CNC 的操作方式选择信号编码无规律，故可直接利用逻辑梯形图进行编程，这样的程序虽较长，但概念清晰、编制简单、阅读容易、调试方便。

图 4-26 所示的程序分为 PMC 的输入译码、输出转换和手轮盒指示灯输出 3 部分，简单说明如下。

1）输入译码。输入译码程序的作用是将方式选择开关的输入 X10.7 ~ X10.5，依次转换为与选择开关位置 1 ~7 一一对应的 DNC、EDIT、AUTO……操作方式选择信号 R010.0 ~ R010.6。由于波段开关在不操作时的输入信号状态可保持，故无须使用自保持程序。

2）输出转换。输出转换程序的作用是将 R010.0 ~ R010.6 所对应的操作方式，转换为 CNC 所需要的操作方式选择信号输出。同样，由于 R010.0 ~ R010.6 的状态在波段开关不操作时可保持，故无须使用自保持程序；因此，转换时只需要根据表 4-19，利用 R010.0 ~ R010.6，将操作方式选择所需的 PMC 输出信号（G043.0 等）置为“1”或“0”即可。

例如，当面板选定操作方式 DNC 时，R010.0 将保持为“1”、而 R010.1 ~ R010.6 则全部为“0”；因此，G043.0、G043.5 输出“1”，而 G043.1、G043.2、G043.5 则为“0”；CNC 选择 DNC 操作等。

3）手轮盒指示灯输出。手轮盒上的指示灯 Y003.6 用于手轮操作指示，它在操作面板选择 HND 操作（R010.5 =1）时，可利用特殊内部继电器 R9091.6 的 1Hz 脉冲信号闪烁；如 CNC 的手轮操作生效，则 CNC 的操作状态信号 MH（F003.1）为“1”，指示灯将变为亮。



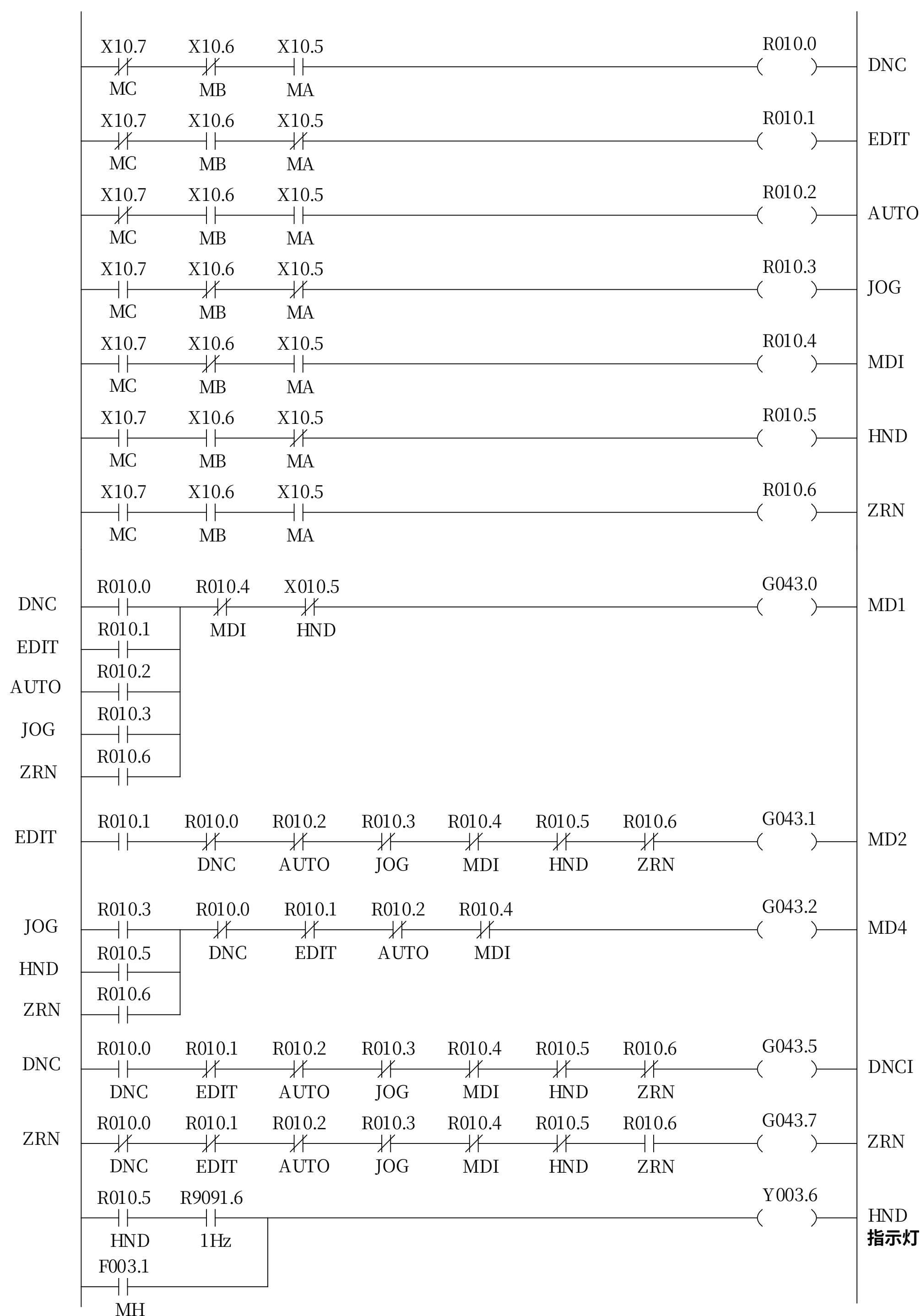


图 4-26　操作方式选择程序

2. 手动进给控制程序

FANUC 系统的手动进给实际包括手动连续进给 JOG、手动增量进给 INC、手轮进给 HND、手动回参考点 REF 几种。虽然上述的用户操作面板的操作方式选择开关无 INC 方式，

但它可通过 CNC 参数 PRM8131.0 = 1、PRM7100.0 = 1 的设定，在选择 HND 方式时，利用坐标轴方向键进行 INC 运动，有关内容可参见 4.2 节。

根据表 4-18 的按键、轴选择开关输入及 4.3 节所述的手动进给要求，假设坐标轴回参考点方向均为正向，所编制的用户操作面板手动进给 PMC 程序如图 4-27 所示。

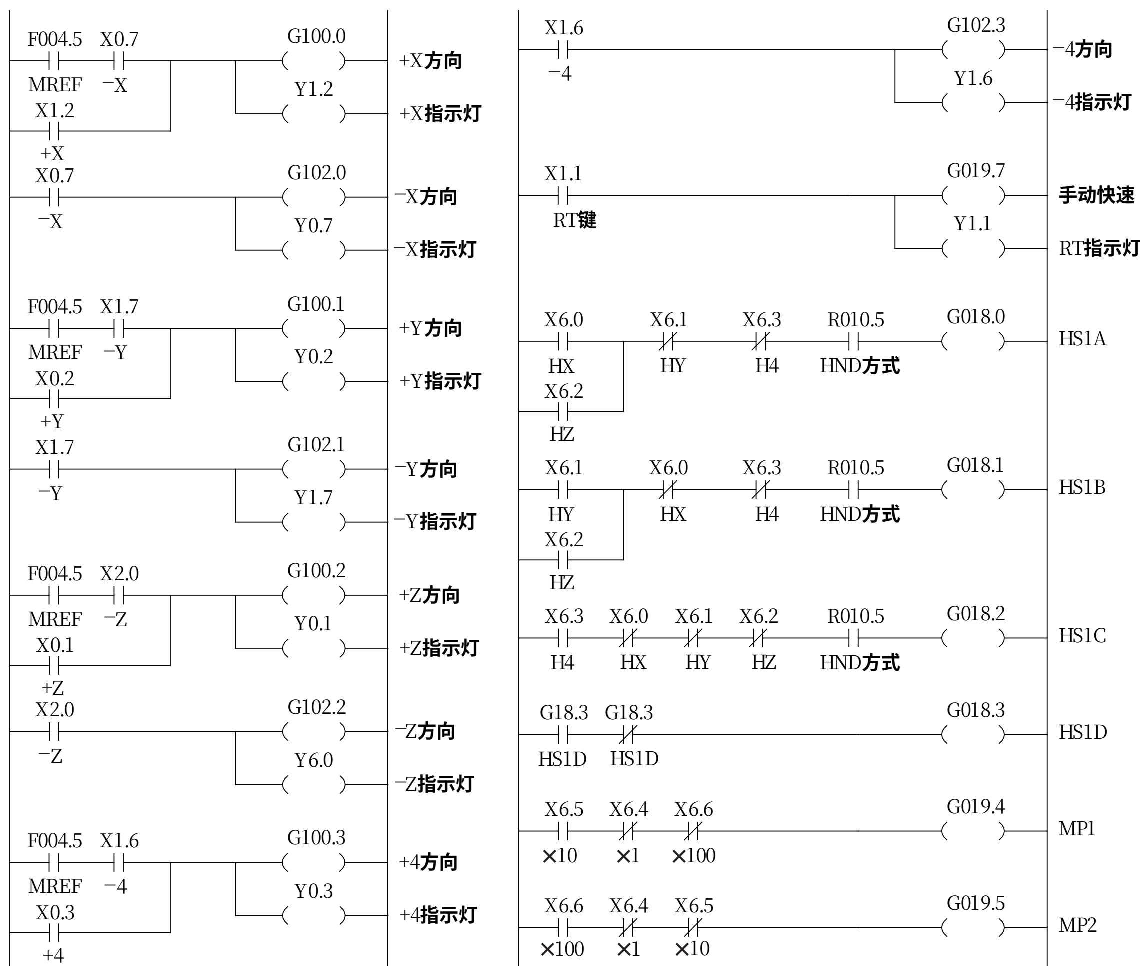


图 4-27 手动进给控制程序

手动进给程序的设计方法与前述的 FANUC 面板相同，有关内容可参见 4.3 节。由于用户面板的手动操作具有独立的【+X】、【−X】等手动操作键，因此，程序中无须进行坐标轴选择键【X】、【Y】、【Z】、【4】及方向键【+】、【−】的处理。

3. 加工程序自动运行控制

用户面板有选择地使用了单程序段、跳过选择段、选择暂停、重新启动、试运行 5 个 CNC 程序运行控制键及循环启动、进给保持 2 个程序启动、停止控制按钮，这些按钮与指示灯除了 PMC 的 I/O 地址与 FANUC 主面板有所区别外，其他要求均一致，故可直接参照 4.4 节 FANUC 主面板的设计方法，进行同样的处理，在此不再一一说明。

4.6.3 倍率调节程序典例

图 4-25 所示的用户操作面板安装有进给倍率、快进倍率、主轴转速倍率调节的波段开



关，且都为二进制编码输出，因此，其倍率调节程序的设计与 FANUC 子面板有所不同，其典型程序如下。

1. 进给倍率调节

用户操作面板的进给倍率调节开关 F% 采用的是 21 个位置的 5 位二进制编码输出的传统波段开关，它也是手动进给速度、程序进给速度通用的倍率调节开关。如采用 4.5 节 FANUC 子面板同样的程序设计方法，可得到开关输入信号、对应倍率及数据转换的要求如表 4-20 所示。由于倍率开关本身是以二进制编码规律依次输出的信号，因此，PMC 程序编制时，数据表中的转换数据也可按数值的大小依次排列。

表 4-20 进给倍率开关的程序设计要求表

PMC 信号输入						倍率开关		转换表数据	
二进制值	X11.4	X11.3	X11.2	X11.1	X11.0	位置	倍率	转换为 JV*i*	转换为 FV*i*
0	0	0	0	0	0	1	0%	000	0
1	0	0	0	0	1	2	1%	100	1
2	0	0	0	1	0	3	2%	200	2
3	0	0	0	1	1	4	4%	400	4
4	0	0	1	0	0	5	6%	600	6
5	0	0	1	0	1	6	8%	800	8
6	0	0	1	1	0	7	10%	1000	10
7	0	0	1	1	1	8	15%	1500	15
8	0	1	0	0	0	9	20%	2000	20
9	0	1	0	0	1	10	30%	3000	30
10	0	1	0	1	0	11	40%	4000	40
11	0	1	0	1	1	12	50%	5000	50
12	0	1	1	0	0	13	60%	6000	60
13	0	1	1	0	1	14	70%	7000	70
14	0	1	1	1	0	15	80%	8000	80
15	0	1	1	1	1	16	90%	9000	90
16	1	0	0	0	0	17	95%	9500	95
17	1	0	0	0	1	18	100%	10000	100
18	1	0	0	1	0	19	105%	10500	105
19	1	0	0	1	1	20	110%	11000	110
20	1	0	1	0	0	21	120%	12000	120

此外，由于用户面板的快进倍率采用的是 F0、25%、50%、100% 传统 4 级倍率调节方式，调节开关为 4 个位置的 2 位二进制编码输出，故可直接用于 CNC 的快进速度倍率调节信号 ROV2/ROV1（G014.1/G014.0）的控制。

根据以上要求设计的进给倍率、快进倍率控制的 PMC 程序如图 4-28 所示，程序的设计思路与 FANUC 子面板相同，相关说明可参见 4.5 节。

2. 主轴转速倍率调节

用户操作面板的主轴转速倍率调节开关 SP% 采用的是 8 个位置的 3 位二进制编码输出的传统波段开关。如同样采用 4.5 节 FANUC 子面板的程序设计方法，可得到开关输入信号、对应倍率及数据转换的要求如表 4-21 所示。由于开关本身以二进制编码规律输出信号，因此，PMC 程序编制时，数据表中的转换数据也应按数值的大小依次排列。

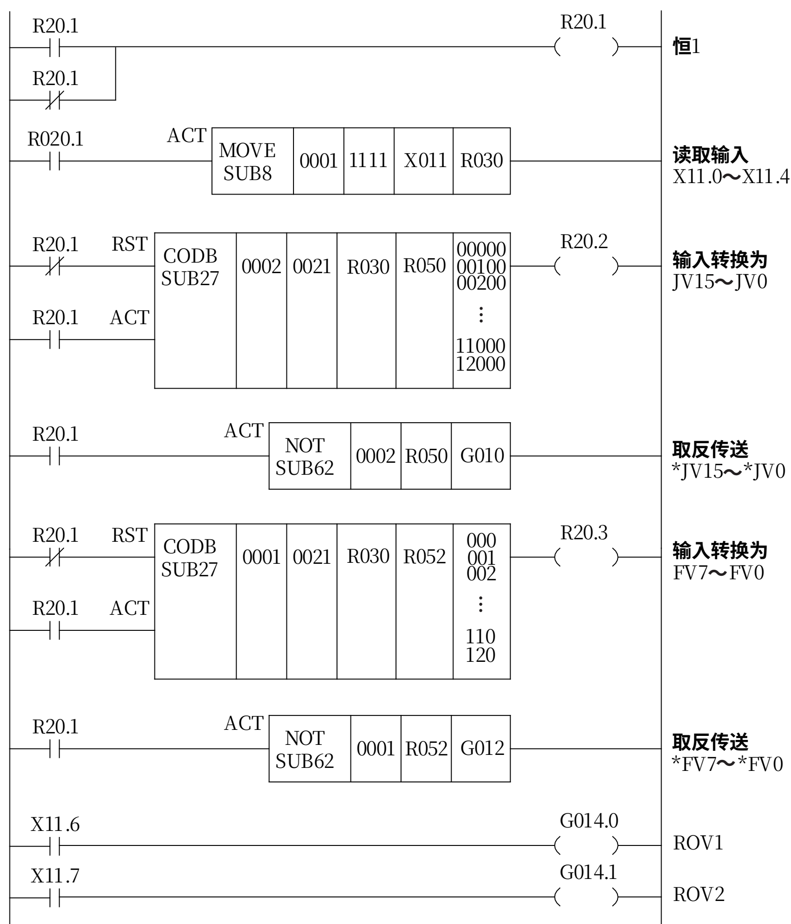


图 4-28　进给倍率控制程序

表 4-21　主轴转速倍率信号转换表

格雷码信号输入				倍率开关		转换表数据
二进制值	X10.2	X10.1	X10.0	位置	倍率	
0	0	0	0	1	50%	50
1	0	0	1	2	60%	60
2	0	1	0	3	70%	70
3	0	1	1	4	80%	80
4	1	0	0	5	90%	90
5	1	0	1	6	100%	100
6	1	1	0	7	110%	110
7	1	1	1	8	120%	120

根据以上要求设计的主轴转速倍率控制的 PMC 程序如图 4-29 所示，程序的设计思路与 FANUC 子面板相同，相关说明可参见 4.5 节。

4.6.4　倍率升降控制程序典例

1. 编程要求

在实际数控机床上，除使用波段开关外，有时还使用倍率升降键，来调整主轴转速倍率



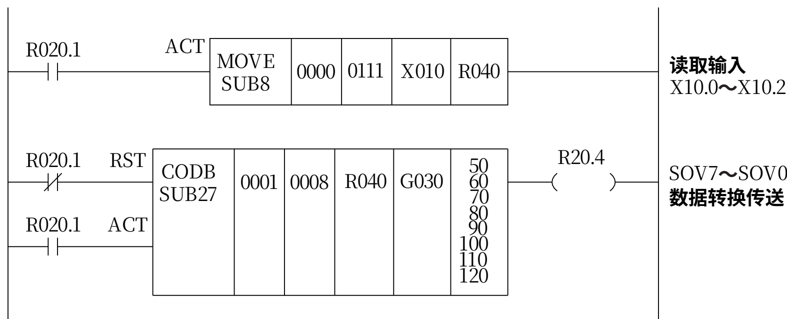


图 4-29　主轴倍率控制程序

或进给速度倍率。图 4-30 为 FANUC 早期 FS-0 系列 CNC 机床操作面板所使用的主轴倍率键，部分数控机床有时也采用这种调节方式。

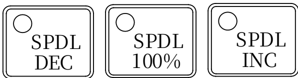


图 4-30　主轴倍率升降键

采用升降键调节的数控机床，其主轴转速倍率的调节范围一般为 50% ~120%，分 15 级，级间的增量为 5%。按键的作用和功能如下。

【SPDL DEC】：倍率降低键。每按一次【SPDL DEC】键，主轴转速可降低 5%；但当倍率降低到 50% 后，主轴转速倍率将保持 50%。

【SPDL 100%】：100% 倍率选择键。按此键，可直接将主轴转速倍率恢复为 100%。

【SPDL INC】：倍率增加键。每按一次【SPDL INC】键，主轴转速可增加 5%；但当倍率增加到 120% 后，主轴转速倍率将保持 120%。

实现主轴转速倍率升降控制的编程方法很多。例如，可通过计数指令将倍率升降键的输入，转换为二进制编码数值（地址）后，再利用前述的二进制数据转换指令 CODB，将其转换 PMC 的主轴倍率信号 G030（SOV7 ~ SOV0）输出；或者，利用二进制四则运算指令，通过对 G030 的加/减“5”的运算，产生倍率调节信号等。以下介绍两种较为常用、简单的程序设计方法。

2. 使用移位指令的程序

由于倍率升降键不能像波段开关那样保持输入信号的状态，因此，PMC 程序设计时一般需要通过移位、计数等功能指令，记录升降键的调节位置，然后才能转换成 PMC 的倍率控制信号 G030。图 4-31 是利用移位指令，产生升降键调节状态记录信号的程序例。

程序中的 X10.0、X10.1、X10.2 分别为主轴倍率升降调节键【SPDL DEC】、【SPDL 100%】、【SPDL INC】的输入地址，执行该程序段后，可在 2 字节内部继电器 R14.0 ~ R15.6 上生成表 4-22 所示的倍率调节状态记录信号。

表 4-22　倍率调节状态记录信号表

状态记录	主轴倍率	状态记录	主轴倍率	状态记录	主轴倍率
R14.0	50%	R14.5	75%	R15.2	100%
R14.1	55%	R14.6	80%	R15.3	105%
R14.2	60%	R14.7	85%	R15.4	110%
R14.3	65%	R15.0	90%	R15.5	115%
R14.4	70%	R15.1	95%	R15.6	120%



图 4-31　状态记录信号生成程序

程序中的 R20. 0 为 PMC 开机的首循环脉冲，它只有在开机的第 1 个 PMC 扫描循环中，才可输出“1”信号；信号用于机床开机时的 100% 主轴转速初始倍率设定；R13. 0、R13. 2、R13. 4 为【SPDL DEC】键、【SPDL 100% 】键、【SPDL INC】键的边沿信号，用来启动移位操作；R13. 6 用于移位方向控制，按【SPDL DEC】键时，R13. 6 =1，指令 SFT 中的 2 字节内部继电器 R15/R14 向右移位；按【SPDL INC】键时，R13. 6 =0，内部继电器 R15/R14 向左移位。

程序中的二进制数据传送指令 NUBER 用于 100% 倍率设定，它可通过开机时的首循环脉冲 R20. 0 或【SPDL 100% 】键的边沿信号，将 2 字节内部继电器 R15/R14 的状态设定为 1024（0000 0100 0000 0000），使调节状态记录信号 R15. 2 =1、其他位为“0”，以记录 100% 倍率的状态。

移位指令 SFT 中的 DIR 用于移位方向控制，DIR =0 为左移、DIR =1 为右移；CONT 为



移位方式控制，CONT =0 为正常移位控制；RST 为复位输入；ACT 为移位启动输入。

在图示的程序中，按【SPDL INC】键，R13. 6 =0、DIR =0，故 R13. 4 的脉冲输入可使现行状态记录信号左移；例如，重复按【SPDL INC】键，状态记录信号可由初始位置 R15. 2，逐一左移至 R15. 3、R15. 4 等。如按【SPDL DEC】键，则 R13. 6 = 1、DIR = 1，R13. 0 的脉冲输入将使现行状态记录信号右移，如由初始位置 R15. 2 逐一右移至 R15. 1、R15. 0、R14. 7 等。但是，如果倍率调节到 120% 位置，状态记录信号 R15. 6 将为“1”，R13. 4 的移位启动输入 ACT 将被禁止，状态记录信号保持为 R15. 6；同样，如果倍率降低到 50%，状态记录信号 R14. 0 将为“1”，R13. 0 的移位启动输入 ACT 将被禁止，状态记录信号保持为 R14. 0。

在以上程序的基础上，便可通过图 4-32 所示的简单程序，利用二进制数据传送指令 NUMER，依次将对应的倍率值输出到 PMC 的主轴倍率控制信号 G030 上。

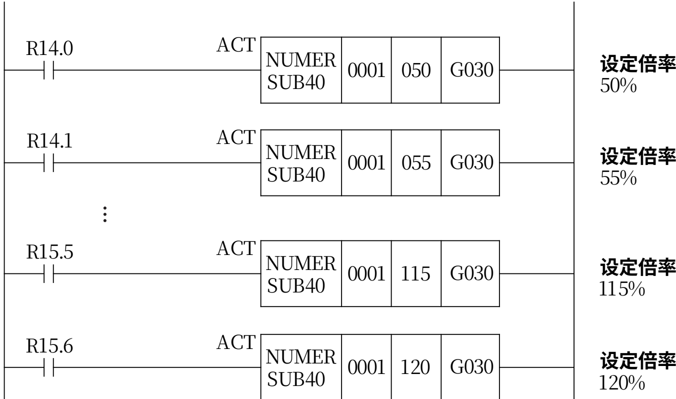


图 4-32　倍率信号输出程序

3. 使用四则运算指令的程序

以上使用移位指令的程序编制简单、调整方便，且能够通过状态记录信号指示现行倍率，但程序的长度相对较长。为此，实际使用时也可以利用四则运算指令，通过图 4-33 所示的程序，实现主轴转速倍率升降调节控制，程序简单说明如下。

第 1 段：利用开机的首循环脉冲或【SPDL 100%】键，通过二进制数据传送指令 NUMER（SUB40），直接将倍率输出 G030 置为 100%。

第 2 段：如 R16. 1 =0（现行倍率大于 50%），按【SPDL DEC】键，其边沿脉冲 R13. 0 将使 G030 减少 5%，运算结果保存到 R060 上。

第 3 段：利用二进制存储器传送指令 MOVB，将 G030 减少 5% 后的结果 R060，重新输出到 G030 上。

第 4、5 段：利用二进制比较指令 COMPB（SUB32），判别现行倍率是否为 50%，如为 50%，则 PMC 的特殊内部继电器 R9000. 0 将为“1”，从而使得 R16. 1 =1 并保持，以便禁止倍率的继续降低。R16. 1 状态可通过【SPDL 100%】键或【SPDL INC】键复位。

第 6 ~9 段：用于倍率增加控制，其作用与第 2 ~5 段类似。如 R16. 3 =0（现行倍率小于 120%），按【SPDL INC】键，其边沿脉冲 R13. 4 将使 G030 增加 5%，并重新传送至 G030；但当现行倍率为 120% 时，R16. 3 = =1 并保持，以便禁止倍率的继续增加。R16. 3



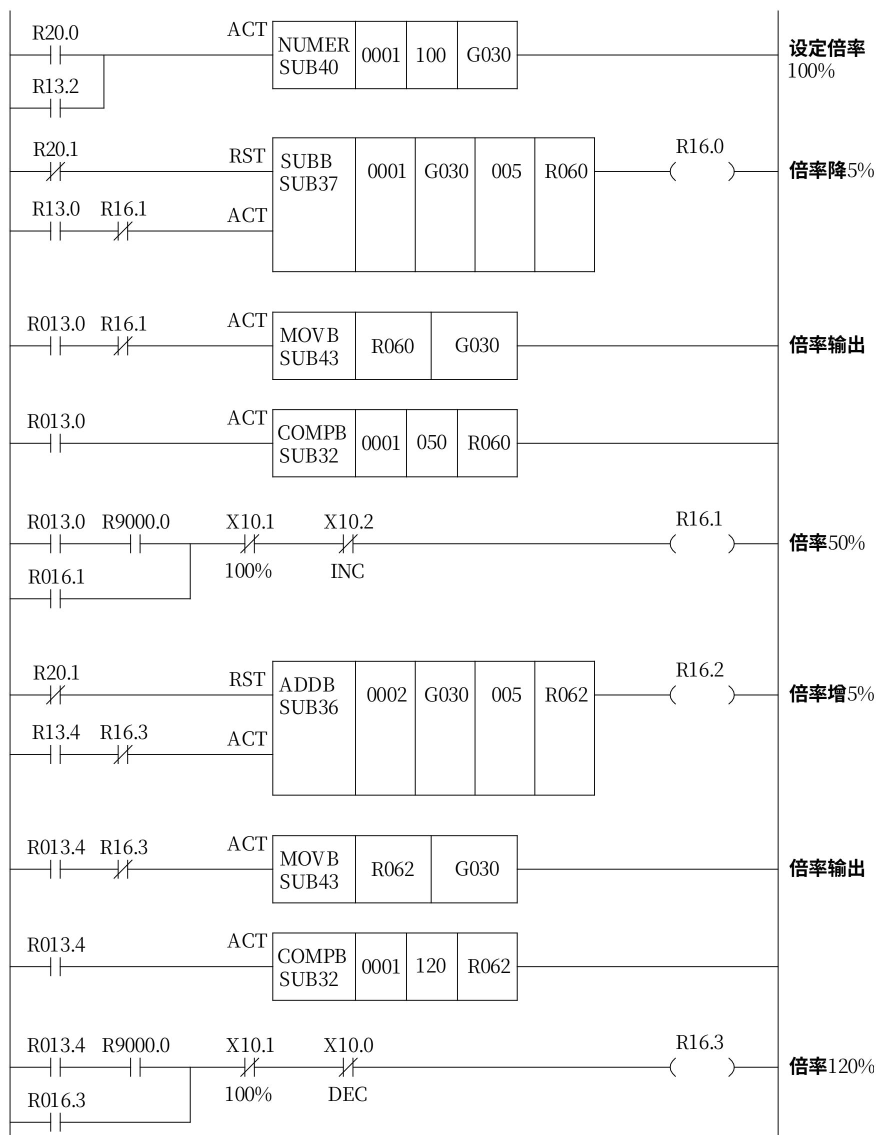


图 4-33 使用四则运算指令的倍率控制程序

状态可通过【SPDL 100%】键或【SPDL DEC】键复位。

第 5 章

数控车床换刀程序典例

5.1 辅助功能处理程序设计

5.1.1 辅助功能说明

1. 一般说明

无论数控车床、车削中心还是加工中心，机床的自动换刀都需要通过 CNC 加工程序中的辅助功能（T 代码、M 代码等）指令，并通过 PMC 程序对辅助功能的处理实现。如前所述，研发数控机床的最初目的是为了解决轮廓加工的刀具运动轨迹控制问题，因此，坐标轴的控制（插补）是数控系统最为重要的基本功能，而 CNC 的其他功能，通称辅助功能或辅助机能，这种说法一直延续至今。

在加工程序中，CNC 的辅助功能一般用 M、B、E 等代码来指令，其中，M 代码指令最为常用，称第 1 辅助功能；而 B、E 代码一般只在复杂机床上使用，故称第 2、3 辅助功能。从指令的性质和 CNC 处理方式上看，主轴转速指令 S、刀具指令 T 同样属于 CNC 辅助功能的范畴，但由于 S、T 指令的控制对象明确、指令通用，因此，也可直接称之为主轴机能和刀具机能。

辅助功能可在加工程序中自由编程，CNC 在执行加工程序时，可将辅助功能代码转换为二进制信号，并直接传送到外部或集成 PMC 的接口信号上，因此，它们可以通过强电线路或 PMC 程序的控制，实现机床的换刀、工作台交换、工作台分度以及冷却、润滑、排屑等辅助动作。

第 1 辅助功能（M 代码）是数控机床最常用的辅助功能，除了少数与 CNC 加工程序的执行直接相关、已由 CNC 生产厂家规定功能的 M 代码外（见下述），其他代码的作用与意义可由机床生产厂家自由定义。因此，在不同的机床上，同一辅助功能代码可能有完全不同的含义，其编程必须参照机床生产厂家提供的使用说明书进行。

第 2、3 辅助功能代码 B、E 是对第 1 辅助功能（M 代码）的补充。由于 M 代码一般只能以正整数的形式编程，因此，对于分度台等需要以负数、小数形式指定位置的控制，需要通过辅助功能代码 B 或 E 指定。

第 2、3 辅助功能的使用与 CNC 功能有关，FS-0iD 可以使用第 2 辅助功能 B，如果需要，还可通过 CNC 参数 PRM3460 的设定，将第 2 辅助功能代码的地址改为 A 或 C、U、V、W。第 2 辅助功能可使用 8 位带符号及小数点的十进制数编程，并可通过 32 位二进制信号

传送到 PMC 接口。

S 代码是规定用于主轴转速控制的辅助功能，由于传统的主轴驱动器（速度控制装置）以及普及型数控机床常用的通用型变频器等，其速度给定输入一般采用模拟量，为了便于和驱动器连接，S 代码不仅可输出二进制代码信号，而且可以通过选配主轴模拟量输出功能，利用模拟量输出选件上的 D-A 转换功能，以直流模拟电压的形式输出。有关 CNC 的 S 代码的输出处理与控制要求，将在第 7 章中进行详细说明。

T 代码是规定用于刀具交换控制的辅助功能，一般用来指定和选择刀具。但是，在车削加工用的 CNC 上，如需要，它还可同时用来选择刀具偏置号，在这种情况下，用来指定和选择刀具的部分 T 代码可输出二进制信号，而用来选择刀具偏置号的部分 T 代码，则由 CNC 内部进行处理。

2. M 代码定义

第 1 辅助功能（M 代码）是所有 CNC 都必备的基本功能，M 功能一般以 2 位十进制的形式在加工程序中编程，在 FS-0iD 等 CNC 上，如需要，也可通过 CNC 参数 PRM3030 的设定，选择 4 位或 8 位 M 代码输出。

绝大多数 M 代码的功能与作用都可由机床生产厂家自由定义。但为了便于用户编程与使用，ISO1056 标准及 CNC 生产厂家、机床生产厂家对部分常用功能及 CNC 内部使用的 M 代码进行了表 5-1 所示的规定，这些 M 代码一般不应定义其他用途。

表 5-1　FS-0iD 常用辅助功能代码表

代码	性质	名称	作用
M00	ISO 规定	程序暂停	程序自动运行停止、状态保持不变
M01	ISO 规定	选择暂停	可通过选择暂停信号，选择的程序自动运行停止
M02	ISO 规定	主程序结束	在部分 CNC 上，也可子程序结束标记
M03	ISO 规定	主轴正转	主轴启动并正转
M04	ISO 规定	主轴反转	主轴启动并反转
M05	ISO 规定	主轴停止	主轴停止旋转
M06	习惯用法	自动换刀	自动换刀
M07	ISO 规定	内冷却开	刀具内冷却打开
M08	ISO 规定	外冷却开	刀具外冷却打开
M09	ISO 规定	冷却关	关闭刀具内冷、刀具外冷
M17	SIEMENS 规定	子程序结束	子程序结束，返回主程序
M19	习惯用法	主轴定向	主轴定向准停
M29	FANUC 规定	刚性攻螺纹	镗铣加工机床刚性攻螺纹
M30	ISO 规定	主程序结束	主程序结束、CNC 复位
M41	习惯用法	主轴变速档 1	主轴传动级交换，低速
M42	习惯用法	主轴变速档 2	主轴传动级交换，次低速
M43	习惯用法	主轴变速档 3	主轴传动级交换，中速
M44	习惯用法	主轴变速档 4	主轴传动级交换，次高速
M45	习惯用法	主轴变速档 5	主轴传动级交换，高速
M98	FANUC 规定	子程序调用	调用子程序
M99	FANUC 规定	子程序结束	子程序结束，返回主程序

5.1.2　辅助功能处理

FS-0iD 的辅助功能处理可以根据需要，通过 CNC 参数 PRM3001.7 的设定，选择普通处



理和高速处理两种不同的处理方式，两者的处理过程、CNC-PMC 接口信号及 PMC 程序设计要求有较大的不同，说明如下。

1. 普通处理

FS-0iD 的辅助功能 M、S、T、B 的处理过程类似，加工程序自动运行时，辅助功能的一般处理流程如图 5-1 所示，其动作过程如下。

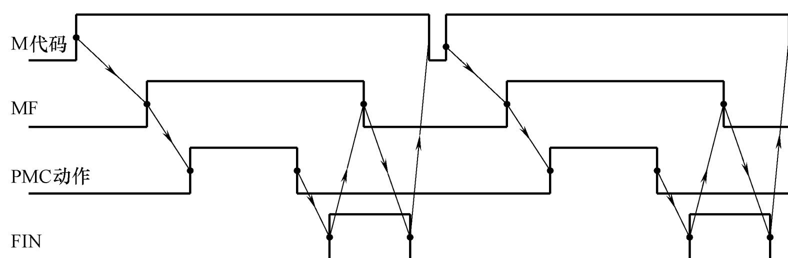


图 5-1　普通辅助功能的处理流程

1）CNC 执行加工程序中的辅助功能指令，并将以十进制格式编程的 M、S、T、B 代码转换为 32 位二进制信号，输出到 CNC-PMC 接口（或外部）。

2）CNC 输出二进制代码后，经 CNC 参数 PRM3010 设定的延时（一般为 16ms），CNC 向 PMC 输出 M、S、T、B 修改信号（亦称选通信号）MF、SF、TF、BF。

3）PMC 在接收到 MF、SF、TF、BF 信号后，可根据实际控制需要，利用 PMC 程序进行 M、S、T、B 代码的译码、逻辑运算等处理，并将其转换为机床所需的动作。

4）机床动作完成后，由 PMC 向 CNC 发送辅助功能完成应答信号 FIN，表明辅助功能已执行完成。FIN 信号一般需要保持 16ms 以上。

5）CNC 收到来自 PMC 的 FIN 信号后，将 MF、SF、TF、BF 信号置“0”，表明 CNC 已经完成 FIN 信号的接收处理。

6）PMC 在接收到 MF、SF、TF、BF 信号为“0”的状态后，将 FIN 信号置“0”，辅助功能处理结束。

7）CNC 在接收 FIN 信号为“0”的状态后，结束辅助功能处理。对于 M 代码，将撤销其 32 位二进制代码输出；但 S、T、B 代码的二进制输出可继续保持，直到加工程序执行下一 S、T、B 代码时，才能更新输出状态。

8）如程序段中的所有指令已经执行完成，CNC 进入下一程序段的处理。

以上是普通数控机床常用的、辅助功能的传统处理方式，称为普通辅助功能处理，它在 CNC 参数 PRM3001.7 设定为“0”时有效。

普通辅助功能处理时，PMC 程序所提供的辅助功能完成应答信号 FIN（G004.3）为 M、S、T、B 代码共用。

2. 高速处理

普通辅助功能处理时，指令执行完成应答需要由 CNC 发送 MF（SF、TF、BF）信号、PMC 发送完成应答信号 FIN、CNC 接收 FIN 并撤销 MF（SF、TF、BF）信号、PMC 撤销 FIN 信号、CNC 撤销二进制代码输出等一系列动作，其处理需要较长的时间。

在高速加工数控机床上，为了提高辅助功能的处理速度，FS-0iD 可通过 CNC 参数 PRM3001.7＝1 的设定，生效高速辅助功能处理功能。

高速辅助功能的处理流程如图 5-2 所示，其动作过程如下。

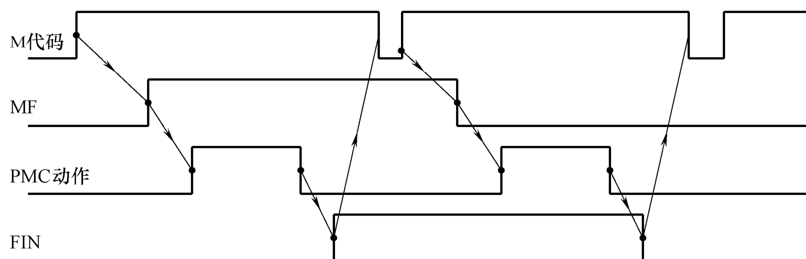


图 5-2　高速辅助功能的处理流程

1）CNC 执行 M、S、T、B 代码指令，并将十进制格式编程的代码转换为 32 位二进制信号，输出到 CNC-PMC 接口上。

2）CNC 输出二进制代码，并经过 CNC 参数 PRM3010 设定的延时（一般为 16ms）后，通过改变 MF、SF、TF、BF 信号的当前状态，向 PMC 发送 M、S、T、B 修改信号；改变后的 MF、SF、TF、BF 信号状态，将保持到加工程序执行下一 M、S、T、B 代码时，才能再次进行“1”→“0”或“0”→“1”的翻转。

3）PMC 在接收到 MF、SF、TF、BF 的状态改变信号后，可根据实际控制需要，利用 PMC 程序进行 M、S、T、B 代码的译码、逻辑运算等处理，将其转换为机床动作。

4）机床动作完成后，PMC 通过改变 M、S、T、B 代码完成应答信号 MFIN、SFIN、TFIN、BFIN 的当前状态，向 CNC 发送辅助功能执行完成信号；改变后的 MFIN、SFIN、TFIN、BFIN 信号状态也将保持，直至 PMC 程序进行下一 M、S、T、B 代码执行完成回答时，才能进行“1”→“0”或“0”→“1”的翻转。

5）CNC 收到来自 PMC 的 MFIN、SFIN、TFIN、BFIN 状态改变信号后，撤销 M 代码的 32 位二进制输出；但 S、T、B 代码的二进制输出可保持，直至出现程序执行下一 S、T、B 代码时，才更新输出状态。

6）如程序段中的所有指令已经执行完成，CNC 进入下一程序段的处理。

由此可见，高速辅助功能处理以辅助功能代码修改信号 MF、SF、TF、BF 及完成应答信号 MFIN、SFIN、TFIN、BFIN 的状态改变，代替了普通辅助功能处理的信号输出，其处理速度更快。也正因为如此，PMC 程序中的 M、S、T、B 功能执行完成应答，需要使用各自独立的 MFIN（G005.0）、SFIN（G005.2）、TFIN（G005.3）、BFIN（FS-0iMD 为 G005.4，FS-0iTD 为 G005.7）信号。

5.1.3　PMC 程序设计要点

CNC 的辅助功能需要通过 PMC 程序，转换为机床的实际动作，因此，PMC 程序设计需要根据辅助功能的处理流程，进行译码、逻辑运算等处理，并提供符合 CNC 要求的应答信号。用于辅助功能处理的 PMC 程序设计要点如下。

1. PMC 程序应答

1）CNC 选择普通辅助功能处理方式时，CNC 通过辅助功能修改信号 MF（F007.0）、SF（F007.2）、TF（F007.3）、BF（FS-0iMD 为 G005.4，FS-0iTD 为 G005.7）为“1”，通知 PMC 二进制辅助功能代码已输出，PMC 程序应在 MF、SF、TF、BF 信号为“1”时，进



行译码处理。当 CNC 选择高速辅助功能处理方式时，CNC 则通过改变辅助功能修改信号 MF、SF、TF、BF 的状态，通知 PMC 二进制辅助功能代码已输出，PMC 程序应在 MF、SF、TF、BF 状态变化时，进行译码处理。

2）CNC 选择普通辅助功能处理方式时，辅助功能 M、S、T、B 使用公用的应答信号 FIN（G004.3），因此，对于同一程序段中存在多个辅助功能的情况，应在全部动作完成后，才能通过统一的应答信号进行应答；应答时先将信号 FIN 置“1”，使 CNC 撤销 MF、SF、TF、BF 信号，然后将 FIN 恢复为“0”。当 CNC 选择高速辅助功能处理方式时，辅助功能 M、S、T、B 需要通过各自独立的 MFIN、SFIN、TFIN、BFIN 信号进行完成应答；应答时只需要改变 MFIN、TFIN、SFIN 、BFIN 信号的现行状态，利用其上升或下降沿，便可结束 CNC 的辅助功能处理。

3）进行加工程序调试或模拟运行时，PMC 可通过 CNC 的辅助功能锁住信号 AFL（G005.6），禁止加工程序中的辅助指令 M、S、T、B。辅助功能锁住生效时，CNC 的辅助功能锁住状态信号 MAFL（F004.4）将为“1”，此时，CNC 不再向 PMC 发送 M、S、T、B 代码及 MF、SF、TF、BF 信号，PMC 程序也无须进行辅助功能译码和应答等处理。但是，辅助功能锁住不能禁止与 CNC 加工程序执行控制有关的程序暂停指令 M00/M01、程序结束指令 M02/M30，以及 CNC 操作系统内部处理的子程序调用和返回的辅助功能代码 M98/M99 和用户宏程序调用的 M/T 代码。

2. 特殊 M 代码处理

1）用于子程序调用和返回的辅助功能代码 M98/M99，及用于用户宏程序调用的 M/T 代码，由 CNC 操作系统内部处理；CNC 执行这些 M 代码时，既不输出 32 位二进制代码和 MF 信号，也无须 PMC 程序进行任何处理及提供 FIN 信号。

2）加工程序暂停和程序结束的 M00/M01、M02/M30 代码，不仅可输出 32 位二进制代码和 MF 信号，而且还可直接输出独立的译码信号 DM00（F009.7）/DM01（F009.6）、DM02（F009.5）/DM30（F009.4），因此，在 PMC 程序中一般无须进行 M00/M01、M02/M30 的译码处理。

3）CNC 执行程序暂停指令 M00/M01 时，并不能自行停止程序的自动运行，它需要通过 PMC 程序，向 CNC 发送进给暂停 *SP（G008.5）等信号，才能停止加工程序的执行。

4）加工程序中的主程序结束指令 M02/M30，可根据需要，通过 CNC 参数 PRM3404.4（M30）、PRM3404.5（M02）的设定，以及 PMC 程序中的不同完成应答方式，选择“返回至程序起始位置并继续执行”、“在程序的结束位置停止”及“返回至程序起始位置停止”3 种不同的功能。

当 PMC 程序仅利用 FIN 信号进行 M30/M02 指令完成应答时，如参数 PRM3404.4/3404.5 设定为“0”，CNC 的加工程序自动返回功能将有效，加工程序可返回至起始位置并继续执行；如参数 PRM3404.4/3404.5 设定为“1”，CNC 的加工程序自动返回功能将无效，加工程序将在程序结束位置停止。对于后者，操作者需要通过 MDI/LCD 面板的 CNC 复位键【RESET】，使加工程序返回至程序起始位置；然后，利用循环启动键【C.START】，使程序继续执行。

当 PMC 程序通过外部复位信号 ERS（G008.7）代替 FIN 信号，进行 M30/M02 指令完成应答时，无论参数 PRM3404.4/3404.5 设定为“1”或“0”，CNC 都将被复位、加工程序

将返回到起始位置停止；程序的继续执行需要通过循环启动键【C. START】启动。

3. 辅助功能执行次序

1）为了保证动作的准确、可靠，CNC 加工程序中的程序暂停和程序结束指令 M00/M01 和 M02/M30、子程序调用和返回指令 M98/M99 以及用于用户宏程序调用的 M/T 指令，原则上要求以独立程序段的形式进行编程；而其他的 M 指令及 S、T、B 指令，则允许与坐标轴运动、进给暂停等指令在同一程序段编程。

2）当辅助功能指令和坐标轴运动、进给暂停等指令同时编程时，CNC 首先输出 32 位二进制辅助功能代码及 MF、SF、TF、BF 信号，然后，处理坐标轴运动、进给暂停等指令；当辅助功能及坐标轴运动、进给暂停等指令全部执行完成后，才能结束程序段的处理。

3）当程序段含有坐标轴运动、进给暂停等指令时，CNC 的分配完成信号 DEN（F001.3）将被置“0”，坐标轴运动、进给暂停指令完成后，DEN 信号才能恢复“1”。因此，对于通常的情况，如机床要求辅助功能在坐标轴运动、进给暂停等指令执行完成后执行，PMC 程序设计时，可通过 DEN 信号互锁 PMC 程序中的辅助功能译码和处理程序；如辅助功能和坐标轴运动、进给暂停等指令需要同时执行，则无须使用分配完成信号 DEN 互锁。

4. 多 M 代码的处理

1）为了便于程序的检查和调整、确保动作清晰和可靠，对于一般情况，一个 CNC 加工程序段以编制 1 个 M 代码为宜。

2）如需要，FS-0iD 可通过 CNC 参数 PRM3404.7 =1 的设定，使得同一个程序段允许同时编制最大 3 个 M 代码。但是，M00/M01、M02/M30、M98/M99 指令只能独立编程；此外，动作相互矛盾的辅助功能代码，如 M03/M04/M05、M07/M08 与 M09、M41 ~ M45 等也不应同时编程。

3）当一个程序段中编制有 3 个 M 代码时，第 1、2、3 个 M 功能可分别通过 CNC-PMC 接口信号 M00 ~ M31（F010 ~ F013、32 位二进制）、M200 ~ M215（F014 ~ F015、16 位二进制）、M300 ~ M315（F016 ~ F017、16 位二进制），以及各自独立的 M 代码修改信号 MF（F007.0）、MF2（F008.4）、MF3（F008.5），同时向 PMC 发送二进制代码信号和 M 修改信号；PMC 程序可根据实际控制要求，对不同的 M 代码，进行不同的处理。

4）第 1、2、3 个 M 功能使用共同的应答信号 FIN（G004.3），因此，PMC 程序中的 FIN 信号必须在所有 M 代码处理完成后，才能向 CNC 发送。CNC 在接收到应答信号 FIN 后，将同时撤销 M00 ~ M31/M200 ~ M215/M300 ~ M315 代码输出及修改信号 MF/MF2/MF3。

5.2 电动刀架控制程序

5.2.1 程序设计要求

1. 结构特点

电动刀架具有结构简单、控制容易、价格低廉等特点，它是图 5-3 所示的平床身国产普及型数控车床使用最为广泛、最简单的车床自动换刀装置。

电动刀架一般由专业厂家生产，产品有立式、卧式两种结构形式，可安装的刀具数量一般为 4 ~6 把，以图 5-3b 所示的立式 4 刀位电动刀架为常用。电动刀架的结构简单、控制容





a) 外观　　b) 电动刀架

图 5-3　普及型数控车床与刀架

易、配套方便、价格低廉，但可安装的刀具数量少，且只能装夹方柄车刀，此外，刀架的定位精度较低，刀架只能进行单向回转选刀，换刀时间较长，因此，通常不用于全功能型数控车床。

国内生产电动刀架的厂家较多，但刀架的内部结构与原理基本相同。刀架由底座、刀架体、驱动电动机、蜗轮蜗杆、螺纹升降机构、端面齿牙盘、刀位检测装置等部件组成，车刀通过刀架体上部的固定螺钉夹紧于刀架体上，刀架定位利用端面齿牙盘实现。电动机正转时，刀架体可在蜗轮蜗杆的带动下，通过螺纹升降机构抬起、端面齿牙盘脱开，并回转换刀。电动机反转时，刀架体的螺纹升降机构将带动刀架进行粗定位并落下，端面齿牙盘啮合、刀架夹紧。刀架的刀位检测一般使用霍尔元件，每一刀位都有独立的检测信号。有关电动刀架的内部结构和原理可参见本书作者编写的《现代数控机床设计典例》（机械工业出版社，2014 年 5 月）一书。

2. 换刀过程

电动刀架的换刀一般直接通过 CNC 的辅助功能指令 T 进行控制，其换刀动作如下。

1）刀架抬起。当 CNC 执行换刀指令 T 时，如现行刀位与 T 指令要求的位置不符，PMC 应输出刀架正转信号，控制刀架电动机起动并正转，使刀架体向上抬起，脱开端面齿牙盘、松开刀架。

2）刀架转位。当刀架体抬到一定位置、端面齿牙盘被完全脱开后，刀架上的转位销将插入螺纹升降机构中，使刀架体和螺纹升降机构啮合，电动机的转动将带动刀架体转位，进行刀具交换。

3）刀架定位。刀架体转动时，将带动刀位检测的霍尔元件发信磁体转动，当发信磁体转到指定刀位时，PMC 应撤销刀架正转信号、输出刀架反转信号，使刀架电动机反转。电动机反转时，刀架体将粗定位并落下。由于电动刀架的回转存在惯性，刀位检测信号的发信范围较窄，因此，刀架从回转到位、正转停止到反转锁紧的过程中，刀位检测信号的状态一般存在“1”→“0”→“1”间断变化。

4）刀架锁紧。随着电动机反转的继续，刀架体的端面齿牙盘将与底座啮合并锁紧，电动机被堵转停止，PMC 经过一定的延时后，撤销刀架反转信号、结束换刀动作。

3. PMC 程序设计要求

车削类数控机床的自动换刀可直接通过 CNC 加工程序中的 T 代码指令启动，因此，数控车床加工程序中的辅助功能代码 T 兼有指定刀号、启动换刀、指定刀具补偿号等多方面的作

用，这一点与加工中心有所不同，有关 FS-0iTD 加工程序的编程方法，可参见本书作者编写的《FANUC-0iD 编程与操作》（机械工业出版社，2013 年 5 月）一书。

根据电动刀架的结构特点和 FS-0iTD 等 CNC 的辅助机能指令 T 的执行要求，可得到配套 4 刀位电动刀架的普及型数控车床的自动换刀 PMC 程序设计要求如图 5-4 所示。

为了便于说明，先假设图 5-4 中的 I/O 信号地址如表 5-2 所示，表中的刀位信号输入、刀架电动机正/反转信号的输出地址可根据机床的实际 I/O 配置改变。

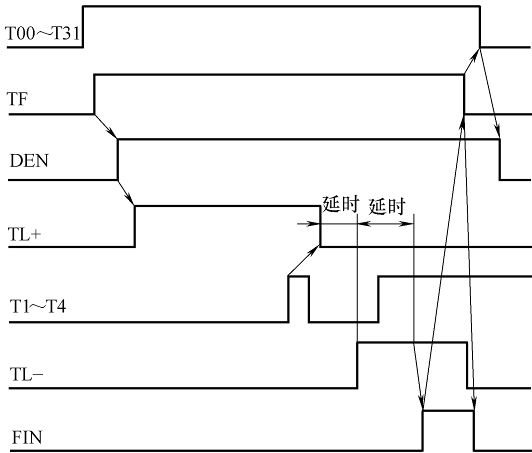


图 5-4　电动刀架的 PMC 程序设计要求

表 5-2　电动刀架控制信号一览表

代 号	名　　称	类 别	PMC 地址	备　注
DEN	分配结束	CNC-PMC 接口信号输入	F001. 3	“1”坐标轴运动结束
T00 ~ T31	T 代码	CNC-PMC 接口信号输入	F026 ~ F029	32 位二进制 T 代码
TF	T 代码选通	CNC-PMC 接口信号输入	F007. 3	“1”T 代码输出有效
T1	实际刀号 1	机床信号输入	X4. 0	参考地址
T2	实际刀号 2	机床信号输入	X4. 1	参考地址
T3	实际刀号 3	机床信号输入	X4. 2	参考地址
T4	实际刀号 4	机床信号输入	X4. 3	参考地址
FIN	辅助功能结束	CNC-PMC 接口信号输出	G004. 3	M/S/T/B 执行完成
TL +	刀架正转	机床输出	Y0. 0	参考地址
TL −	刀架反转	机床输出	Y0. 1	参考地址

由于不同厂家所生产的电动刀架，所使用的刀位检测器件（霍尔元件）的输出形式可能有所不同，电气控制系统设计时，应尽可能将刀位检测信号的输入，连接到允许进行源/汇点输入方式变换的 CNC-I/O 单元的输入端上，例如，0i-I/O 单元的 X4. 0 ~ X4. 7 等。

5. 2. 2　PMC 程序典例

根据以上电动刀架的控制要求，其 PMC 程序设计一般可分为刀号出错检查、刀号一致判别、刀架回转控制、完成应答 4 部分，典型程序如下。

1. 刀号出错检查

刀号出错检查程序用于 CNC 加工程序中的编程刀号（T 代码）检查，如加工程序中的 T 代码超出了刀架实际允许的刀号范围，PMC 程序应直接结束 T 代码的执行，并发出相应的操作出错报警。刀号出错检查程序如图 5-5 所示。

由于 FS-0iD 等 CNC 的 T 代码输出为 32 位二进制编码信号 T01 ~ T31（F026 ~ F029），因此，刀号出错检查程序使用了 4 字节二进制比较指令 COMPB（SUB32）；比较指令在 CNC 的 T 代码选通信号 TF 输出为“1”时执行。

程序中的第 1 条比较指令用于刀号为 0 检查，如 CNC 加工程序中的 T 代码为 T00，则 F026 ~ F029 的二进制输出值为“0”，执行指令后，PMC 的特殊内部继电器 R9000. 0 的状态



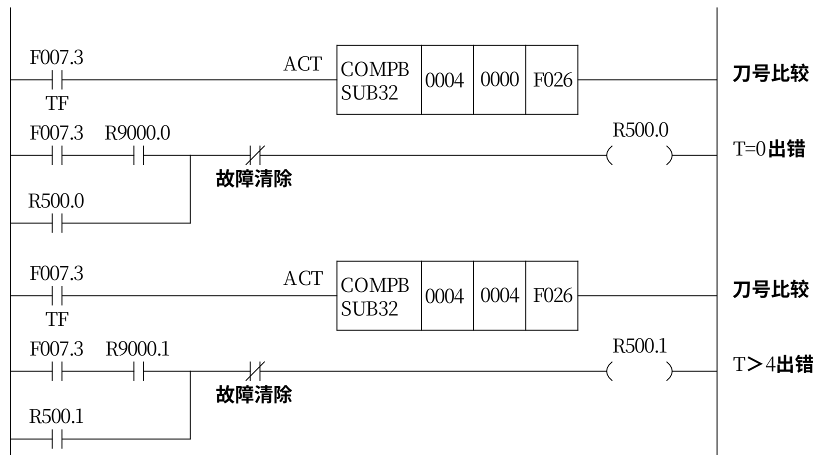


图 5-5　刀号出错检查程序

将为“1”，故 R500. 0 =1 并保持。

程序中的第 2 条比较指令用于刀号大于 4 检查，对于 4 刀位的电动刀架，如 CNC 加工程序中所编制的 T 代码大于 T04，则 F026 ~ F029 的二进制输出值大于 0004，执行指令后，PMC 的特殊内部继电器 R9000. 1 的状态将为“1”，故 R500. 1 =1 并保持。

R500. 0 或 R500. 1 一旦为“1”，一方面可通过相关的 PMC 报警处理程序，产生机床报警或操作者出错信息，停止机床的运行；另一方面，可通过后述的 T 代码应答程序，直接输出辅助功能执行完成信号 FIN（G004. 3）、结束 T 指令的执行过程。

2. 刀号一致判别

刀号一致判别程序用于 CNC 加工程序中的编程刀号和刀架实际刀号的一致检查，如两者相同，可直接结束换刀；否则，应产生换刀启动信号，使刀架回转换刀。刀号一致判别程序如图 5-6 所示。

当 CNC 加工程序中的 T 代码编程正确（$0<T\leqslant4$）时，在 CNC 的 TF 信号有效期间，程序中的 R500. 2 将保持状态“1”，图中的 PMC 程序将进行以下处理。

1）T 译码。为了进行编程刀号和实际刀号的比较，应保证实际刀位检测信号的格式和 CNC 的 T 代码一致。电动刀架的刀位检测通常是通过 4 个霍尔元件，直接检测刀位，即刀位 T01 的检测信号（X4. 3 ~ X4. 0）输入状态为 0001（X4. 0 =1）、T02 的输入状态为 0010（X4. 1 =1）、T03 的输入状态为 0100（X4. 2 =1）、T04 的输入状态为 1000（X4. 3 =1）；而 CNC 的 T 代码输出 F026 为 32 位二进制编码信号，执行 T01 指令时的 T 代码输出（F026 的低字节）为 0001、T02 的输出为 0010、T03 的输出为 0011、T04 的输出为 0100。因此，需要通过 PMC 程序的设计，保证两者格式的一致。

代码变换的方法有多种，作为简捷的方法之一，可直接利用 PMC 的二进制译码功能指令 DECB（SUB25），将来自 CNC 的 32 位 T 代码信号 F026 ~ F029，一次性转换成与刀位检测信号格式相同的信号。DECB 为 4 字节二进制译码指令，程序中定义了指令的输入数据为来自 CNC 的 32 位 T 代码 F026 ~ F029、基准数据为 0001、结果寄存器为 R508；因此，执行该指令可将 F026 ~ F029 的二进制代码输入 T0001 ~ T0008，依次转换为结果寄存器 R508. 0 ~ R508. 7 上的二进制位状态，如 T0001 对应 R508. 0 =1、T0002 对应 R508. 1 =1 等。对于实

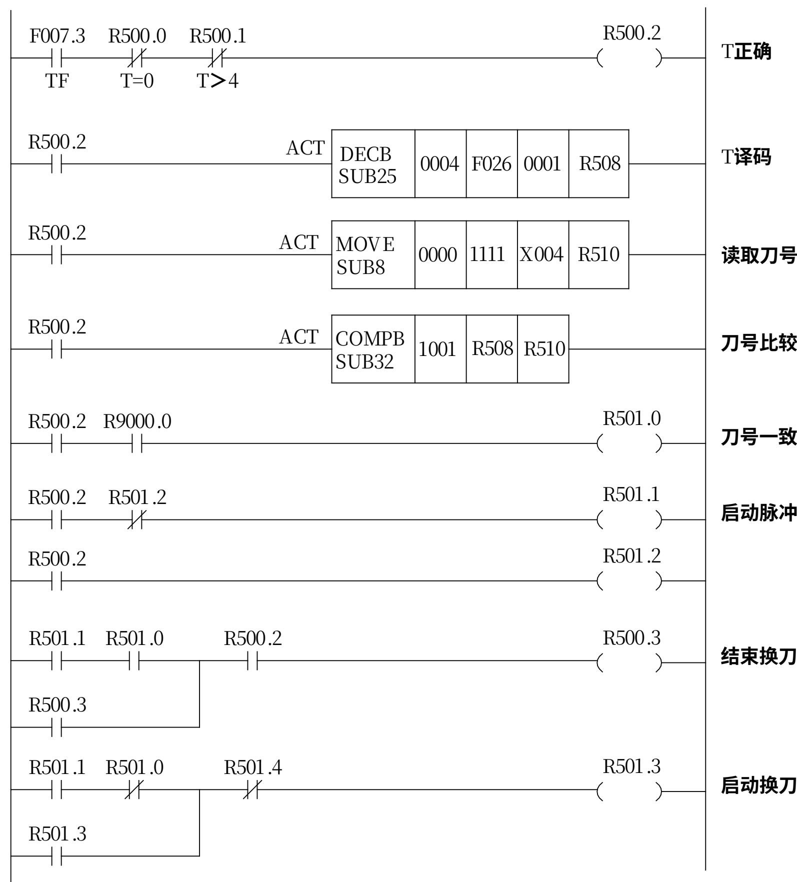


图 5-6　刀号一致判别程序

际有效的编程 T 代码 T01 ~ T04，执行 DECB 指令后，可在 R508. 0 ~ R508. 3 上得到与 T01 ~ T04 对应的信号，而 R508. 4 ~ R508. 7 则始终为 0，因此，R508 上将得到和实际刀位检测信号格式一致的指令刀号，达到了 T 代码格式转换的目的。

2）实际刀号读取。程序中的 MOVE（SUB8）指令用于实际刀号输入的读取。执行 MOVE 指令，可将含有刀位检测信号的输入字节 X4 的状态和“0000 1111”进行“位与”运算，以便在内部继电器 R510. 0 ~ R510. 3 上得到刀位检测输入 X4. 0 ~ X4. 3 的状态，而 R510. 4 ~ R510. 7 则始终为 0。

3）刀号一致判别。程序中的二进制比较指令 COMPB（SUB32）用于刀号一致判别。当刀号一致时，CNC 的 T 代码译码结果 R508 和实际刀位检测输入 R510 的状态相同，执行指令后，PMC 的特殊内部继电器 R9000. 0 将为“1”、R501. 0 为“1”。如 CNC 输出 TF 信号时，实际刀号和编程刀号已相同（R501. 0 = 1），则可产生结束换刀信号 R500. 3，此时，可通过后述的完成应答程序，直接输出辅助功能执行完成信号 FIN（G004. 3）、结束 T 指令；如实际刀号和编程刀号不一致（R501. 0 = 0），则可产生启动换刀信号 R501. 3，启动刀架正转。

由于在整个换刀过程中，R500. 2（TF）信号保持为“1”，因此，刀号一致判别指令 COMPB 始终有效，但实际刀位检测输入信号 X4. 0 ~ X4. 3 的检测区间较窄；因此，电动刀



架在正转到停止、反转锁紧的过程中，R501. 0 的状态通常存在“1”→“0”→“1”的变化。为了避免由此引起的换刀动作异常，引起换刀动作的提前结束或刀架二次启动，信号 R500. 3 和 R501. 3 需要使用 R500. 2（TF）的上升沿脉冲 R501. 1 生成。

3. 回转控制和完成应答

电动刀架的换刀控制可根据图 5-4 的要求，利用刀架电动机的正反转直接实现；换刀结束后，PMC 应输出 FIN（G004. 3）信号，结束 CNC 加工程序中的 T 代码执行。实现这一动作的 PMC 程序如图 5-7 所示。

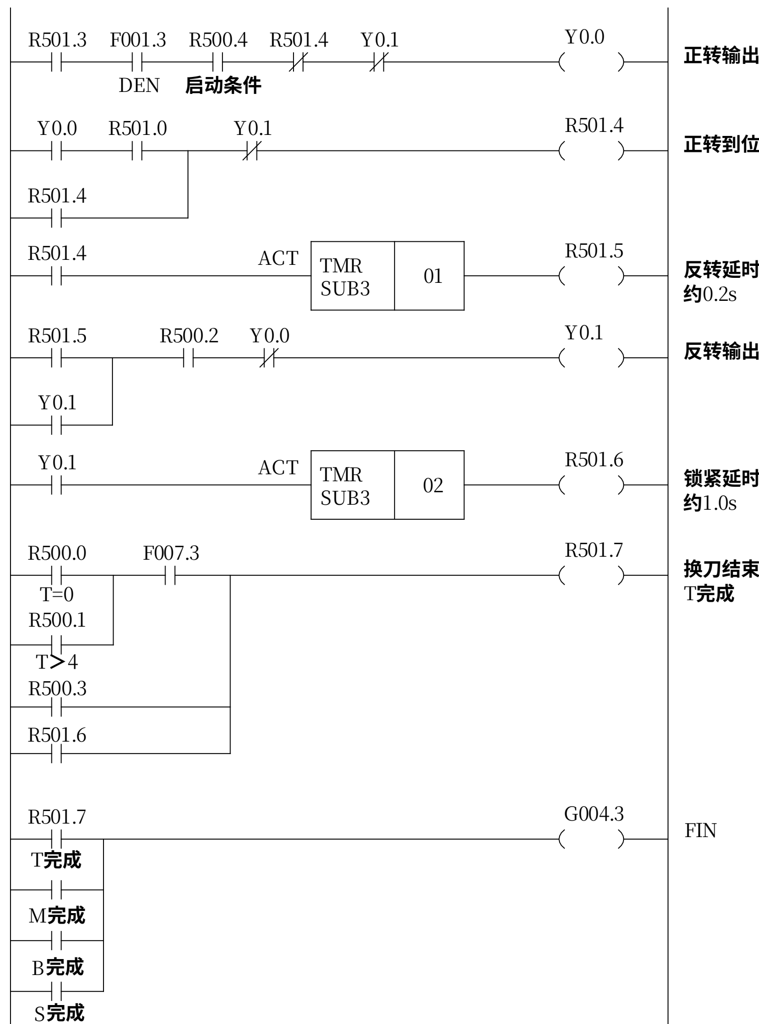


图 5-7　换刀控制和结束应答程序

刀架回转可通过前述的刀架启动信号 R501. 3 启动，如坐标轴运动结束、DEN（F001. 3）=1，且其他条件满足（R500. 4 =1），则 R501. 3 将使得刀架电动机正转输出 Y0. 0 为“1”，刀架将抬起、回转。

由于在整个换刀过程中，图 5-6 程序中的刀号一致判别指令始终有效，因此，一旦刀架转到加工程序 T 代码所指定的刀位，信号 R501. 0 将为“1”，程序中的到位信号 R501. 4 将为“1”并保持。R501. 4 =1 后，将撤销图 5-6 程序中的启动换刀信号 R501. 3、刀架正转输

出 Y0.0，停止刀架正转。

信号 R501.4 经过定时器 T1 的延时后，将输出反转信号 R501.5，使刀架电动机反转输出 Y0.1 为“1”并保持，刀架执行反转锁紧动作。与此同时，Y0.1 = 1 将启动定时器 T2，开始反转锁紧延时，并复位正转到位信号 R501.4 和反转起动信号 R501.5。

刀架电动机的反转锁紧时间利用定时器 T2 的延时进行控制，延时到达后，R501.6 将为“1”，PMC 可通过 R501.7 输出 T 代码执行完成信号 FIN（G004.3），结束 CNC 的 T 代码执行过程。CNC 接收到 PMC 的 FIN 信号后，可自动撤销 TF 信号，使图 5-6 程序中的 R500.2 状态变为“0”，因此，刀架电动机的反转输出 Y0.1 也将被撤销，并使 R501.6、R501.7、G004.3（FIN）成为“0”，结束换刀动作。

PMC 程序中的 T 代码执行完成应答信号 R501.7，可在以下 3 种情况下输出。

1）CNC 加工程序中的编程刀号出错、R500.0 或 R500.1 为“1”时，PMC 将直接输出 FIN（G004.3）信号，结束 T 代码执行过程。CNC 接收到 PMC 的 FIN 信号后，可自动撤销 TF 信号，使 R501.7、G004.3（FIN）重新成为“0”，而机床则可通过报警处理程序，进入报警状态。

2）换刀开始时实际刀位和 CNC 程序中的 T 代码指令刀号一致。此时，图 5-6 程序中的 R500.3 为“1”，同样可以直接输出 FIN（G004.3）信号，结束 T 代码执行过程。CNC 接收到 PMC 的 FIN 信号后，可自动撤销 TF 信号，使 R500.2、R500.3 为“0”，R501.7、G004.3（FIN）信号复位，换刀直接结束。

3）正常换刀过程结束。正常的换刀过程结束时，可利用前述的反转锁紧的延时到达信号 R501.6 进行应答。

因 FS-0iD 等 CNC 的普通 M、T、S、B 辅助功能执行完成应答，使用的是共同的完成信号 FIN（G004.3），因此，其 FIN 信号需要同时考虑辅助功能 M、S、B 的应答要求。

5.3 液压刀架控制程序

5.3.1 程序设计要求

1. 结构特点

通用液压刀架的结构紧凑、控制容易、分度精度较高，它是图 5-8 所示的中小型普通全功能数控车床所常用的自动换刀装置。通用液压刀架一般由专业生产厂家生产，数控机床生产厂家可直接选配标准产品。通用液压刀架可安装的刀具数量一般为 8～12 把，刀架可双向回转、捷径选刀，其换刀速度相对较快。

通用液压刀架一般由刀架体、刀塔、刀塔松夹油缸和定位齿牙盘、刀塔回转油缸和共轭凸轮分度机构等部件组成。刀塔的松夹和准确定位利用松夹油缸和精密齿牙盘实现；刀塔的回转通过液压回转油缸驱动的共轭凸轮间隙分度机构实现，刀塔回转到位时一般不需要进行减速和粗定位；刀架的检测信号一般有刀塔抬起（松开）、刀塔落下（夹紧）和刀位计数 3 个。通用液压刀架的详细结构和原理，可参见本书作者编写的《现代数控机床设计典例》（机械工业出版社，2014 年 5 月）一书。

通用液压刀架的换刀过程如下。





a) 外形　　b) 刀架

图 5-8　中小型数控车床及刀架

1）刀塔抬起。刀塔抬起通过液压松夹油缸实现，刀塔抬起后定位齿牙盘脱开、松开检测开关发信，此时，刀塔可在液压回转油缸的驱动下进行双向回转选刀。

2）回转选刀。刀塔的回转选刀通过液压回转油缸驱动的共轭凸轮间隙分度机构实现。共轭凸轮分度是一种间隙运动机构，凸轮每回转 360°，刀塔可转过一个刀位。共轭凸轮的曲线设计，保证了刀塔每转一个刀位，都有回转分度的加/减速和到位时的停顿动作，刀塔在回转到达任意一个刀位，都将出现短暂停顿，因此，即使液压回转油缸的停止角度存在少量偏差，也不会改变刀塔的定位位置，故刀塔的定位一般不需要进行减速和粗定位动作。

3）刀塔夹紧。刀塔夹紧同样通过液压松夹油缸实现，刀塔回转到位后，共轭凸轮分度机构位于回转停顿位置，刀塔可通过松夹油缸实现落下、夹紧动作，使准确定位的齿牙盘啮合并夹紧，刀塔被精确定位。

通用液压刀架的刀位检测一般通过安装在共轭凸轮驱动轴上的计数开关实现，刀塔每转一个刀位，开关将输出 1 个计数脉冲信号。

2. PMC 程序设计要求

根据通用液压刀架的结构特点和 FS-0iTD 等 CNC 的辅助功能指令执行要求，可得到配套此类刀架的中小型普通全功能数控车床的自动换刀 PMC 程序设计要求如图 5-9 所示，图中的信号及功能如表 5-3 所示。

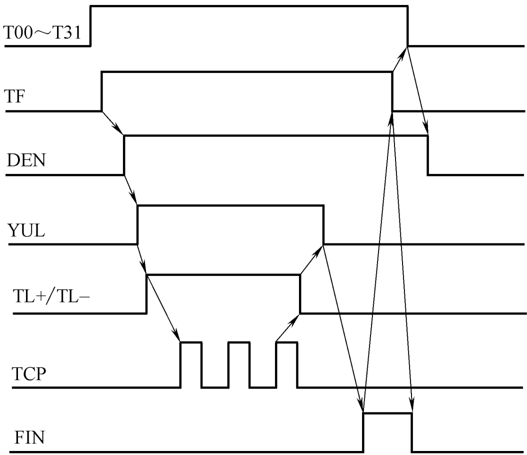


图 5-9　电动刀架的 PMC 程序设计要求

表 5-3　通用液压刀架控制信号一览表

代 号	名　　称	类 别	PMC 地址	备　注
DEN	分配结束	CNC-PMC 接口信号输入	F001.3	“1”坐标轴运动结束
T00 ~ T31	T 代码	CNC-PMC 接口信号输入	F026 ~ F029	32 位二进制 T 代码
TF	T 代码选通	CNC-PMC 接口信号输入	F007.3	“1”T 代码输出有效
TCP	刀位计数	机床信号输入	X4.0	参考地址
TLK	刀塔夹紧	机床信号输入	X4.1	参考地址

（续）

代 号	名　称	类 别	PMC 地址	备　注
TUL	刀塔松开	机床信号输入	X4. 2	参考地址
FIN	辅助功能结束	CNC-PMC 接口信号输出	G004. 3	M/S/T/B 执行完成
TL +	刀塔正转	机床输出	Y0. 0	参考地址
TL-	刀塔反转	机床输出	Y0. 1	参考地址
YUL	刀塔松夹	机床输出	Y0. 2	参考地址，1：松开；0：夹紧

表 5-3 中的刀位计数、刀塔松开/夹紧检测开关的输入地址，以及刀塔正转/反转、刀塔松开/夹紧电磁阀的输出地址可根据实际机床的 I/O 配置改变。

5. 3. 2　PMC 程序典例

通用液压刀架和电动刀架在 PMC 程序设计上的最大区别在于两者的刀位检测信号输入形式不同，电动刀架的刀位检测使用的是绝对位置检测方式，每一刀位都有明确的检测信号输入；而通用液压刀架则采用计数开关计数的增量检测方式，因此，需要利用 PMC 程序来确定其实际刀号。此外，由于通用液压刀架的刀塔可进行双向回转、捷径换刀，因此，PMC 程序设计时，需要有刀位计算、捷径选择功能。

通用液压刀架的 PMC 控制程序一般由刀位计数、捷径选择、刀号出错检查、刀号一致判别、刀架回转控制、完成应答 6 部分组成，典型程序如下。

1. 刀位计数

FS-0iD 等 CNC 的刀位计数可利用 PMC 的回转计数功能指令 CTR（SUB5）实现，以 8 刀位通用液压刀架为例，其典型的 PMC 程序如图 5-10a 所示，计数指令 CTR 的功能和相关参数如图 5-10b 所示。

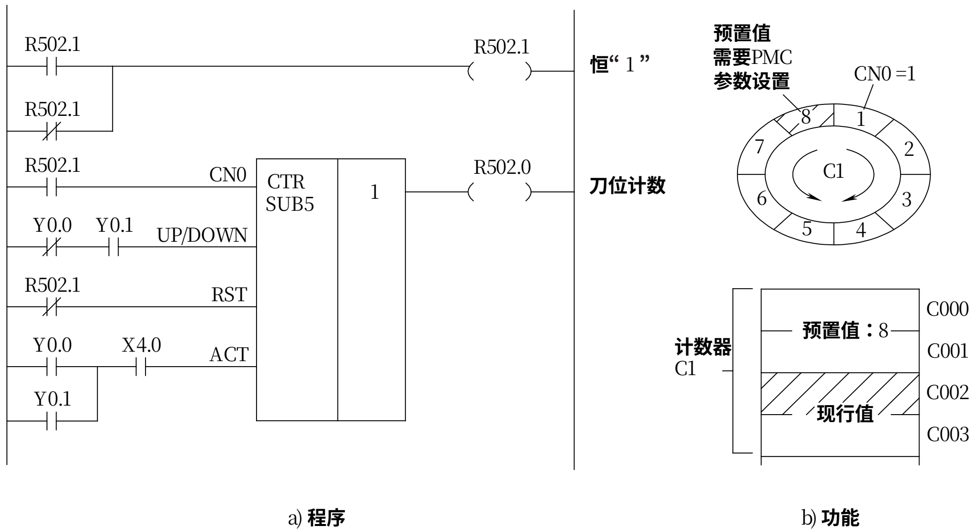


图 5-10　刀位计数程序与功能

FS-0iD 的回转计数指令 CTR 可用于回转体的双向循环计数，指令的部分参数可通过 CNC 的 MDI/LCD 面板，在 PMC 计数器参数设定页面上直接设定。

当回转计数指令 CTR 用于数控车床刀架的刀位计数时，指令中的回转体分度数应为刀



架的最大刀号，它又称计数器预置值，这一参数一般通过 CNC 的 MDI/LCD 面板，在 PMC 计数器参数设定页面上设定。

CTR 指令中的回转体起始分度值应为刀架的最小刀号，它又称为计数器初始值，这一值可以通过 CTR 指令中的控制条件 CN0 进行选择。如 CN0 = 0 时，起始分度值为 0；CN0 = 1 时，其起始分度值为 1。

因此，对于需要进行 T1 ~ T8 计数的 8 刀位液压刀架，指令中的计数器预置值应设定为 8；控制条件 CN0 应为“1”。

指令 CTR 的每一计数器都有对应的连续 4 字节计数存储器用来保存计数参数，计数存储器按照 PMC 程序中的计数器号依次排列。例如，PMC 程序中的计数器 C1 所对应的计数存储器为 C000 ~ C003；计数器 C2 所对应的计数存储器为 C004 ~ C007 等。每一计数器的第 1、2 字节计数存储器都用来存储该计数器的预置值；第 3、4 字节则用来存储计数器的现行计数值。预置值、现行计数值一般都是通过 CNC 的 MDI/LCD 面板，直接利用 PMC 的计数器参数设定页面进行设定，但为了保证计数值的正确，这一设定只需要在首次调试或 PMC 参数总清后进行，机床正常使用时的现行计数值可在指令的执行过程中自动改变并保存。

指令 CTR 用于刀位计数时，现行计数值就是刀架的实际刀位检测信号，它可根据 CTR 指令的控制条件 UP/DOWN，随计数脉冲 ACT 的输入自动增/减。但是，机床首次调试或 PMC 参数总清后，现行计数值一般需要通过 CNC 的 MDI/LCD 面板，在计数器参数设定页面上进行设定。在 PMC 程序中，计数器预置值（刀架的最大刀号）、现行计数值（刀架的当前刀号）均可通过计数寄存器进行读取，例如，在计数寄存器 C000 或 C002 上，可分别读取计数器 C1 的预置值或现行计数值；在计数寄存器 C004 或 C006 上，则可分别读取计数器 C2 的预置值或现行计数值等。

CTR 指令中的控制条件 RST 如果为“1”，计数器的现行计数值将复位到计数器初始值。如果液压刀架安装有参考点（1 号刀位）检测开关，可使用这一检测信号，作为 RST 输入，并通过刀架的手动回参考点动作，使得现行计数值和实际刀号一致。但是，为了简化机床的开机操作，在多数数控车床上一般不使用这一功能，此时，可直接将 CTR 指令中的控制条件 RST 置为“0”。

CTR 指令中的结果输出 WRT（R502.0）在正向计数（加计数）到达计数器预置值、反向计数（减计数）到达初始值时输出“1”。在大多数情况下，刀架控制的 PMC 程序，一般不使用这一信号。

CTR 指令中的控制条件 UP/DOWN 用于计数方向控制，ACT 为上升沿有效的计数脉冲输入。当刀塔正转时，液压回转油缸的正转输出 Y0.0 = 1、反转输出 Y0.1 = 0，故 UP/DOWN 为“0”，计数开关 X4.0 每输入一个脉冲，现行计数值将加“1”；到达最大刀号后，可自动从计数初始值（最小刀号 1）开始重新计数。刀塔反转时，液压回转油缸的正转输出 Y0.0 = 0、反转输出 Y0.1 = 1，故 UP/DOWN 为“1”，计数开关 X4.0 每输入一个脉冲，现行计数值将减“1”；到达最小刀号后，可自动从计数预置值（最大刀号 8）开始重新计数。

2. 刀号出错检查和一致判别

用于 8 刀位通用液压刀架的刀号出错检查、刀号一致判别的 PMC 程序如图 5-11 所示，该程序的设计思路与电动刀架基本相同。

当 CNC 加工程序中的编程刀号 T = 0 或 T > 8 时，编程刀号出错信号 R500.0 或 R500.1



图 5-11　刀号出错和一致判别程序

将为“1”，此时，一方面可通过机床报警处理的 PMC 程序，产生机床报警或操作者出错信息；另一方面，可通过后述的 T 代码应答程序，直接输出辅助功能执行完成信号 FIN（G004.3）、结束 T 指令。

在刀号一致判别指令 COPMB（SUB32）中，由于刀架的实际刀位检测信号为计数器 C1 所对应的计数寄存器 C002 上的二进制值，其数据格式和 CNC 的 T 代码输出信号 F026 ~ F029 的一致，且实际有效刀号的范围为 T1 ~ T8，故只需要利用 1 字节二进制比较指令 COMPB，进行 T 代码的最低字节 F026 和计数寄存器 C002 的低字节比较。程序中的其他指令的作用及内部继电器 R 的含义，均与电动刀架控制程序相同，有关内容可参见 5.2 节。

3. 捷径选择

通用液压刀架的刀塔可双向回转，因此，自动换刀时需要通过 PMC 程序中的刀塔转向



捷径选择程序，生成刀塔回转的转向信号。

FS-0iD 等 CNC 的捷径选择可直接利用 PMC 的回转控制功能指令 ROTB（SUB26）实现，以上述 8 刀位通用液压刀架为例，其典型 PMC 程序如图 5-12 所示。

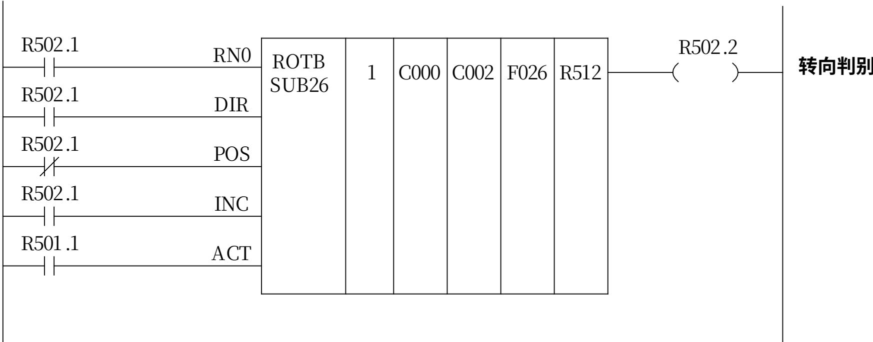


图 5-12　捷径选择程序

ROTB 指令中的控制条件和参数定义如下。

RN0 =1：回转计数的初始值（刀塔的最小刀号）为“1”。

DIR =1：捷径选择功能有效。转向信号可通过结果寄存器 R502. 0 输出，R502. 2 =0 为正转，R502. 2 =1 为反转。

POS =0：以目标位置为基准，计算并在结果存储器 R512 上输出刀塔需要回转的刀位数或刀塔的定位目标位置。

INC =1：结果存储器 R512 上的输出为需要回转的刀位数。

ACT：指令执行启动信号，为了防止刀塔回转过程中，因实际刀位检测信号的变化，导致指令执行结果的错误，程序中一般需要利用换刀启动脉冲 R501. 1 启动指令、判别转向；在换刀启动后，将不再执行 ROTB 指令。

ROTB 指令中的参数定义如下。

1：指令数据的长度为 1 字节。由于机床的实际有效刀号为 T1 ~ T8，故只需要进行实际刀号、指令刀号的最低字节运算。

C000：指定回转体的最大分度位置（最大刀号）值。ROTB 指令规定最大分度位置需要以存储器地址的形式给定，因图 5-10 的刀位计数程序中，已定义计数器 C1 用于刀位计数，因此，C1 所对应的计数存储器 C000 中的设定值，可直接作为回转体的最大分度位置（最大刀号）。

C002：回转体的当前位置。同样，它就是计数器 C1 所对应的计数存储器 C002 中的现行计数值。

F026：回转的目标位置。它就是 CNC 输出的 T 代码指定位置。

R512：结果存储器。R512 为需要回转的刀位数或刀塔的定位目标位置，该计算结果在仅需要判别转向的换刀程序中一般不使用。

R502. 2：转向输出。刀塔的捷径回转的转向，R502. 2 =0 为正转，R502. 2 =1 为反转。

4. 回转控制和完成应答

如不考虑手动操作，液压刀架的自动换刀回转控制和完成应答程序如图 5-13 所示。

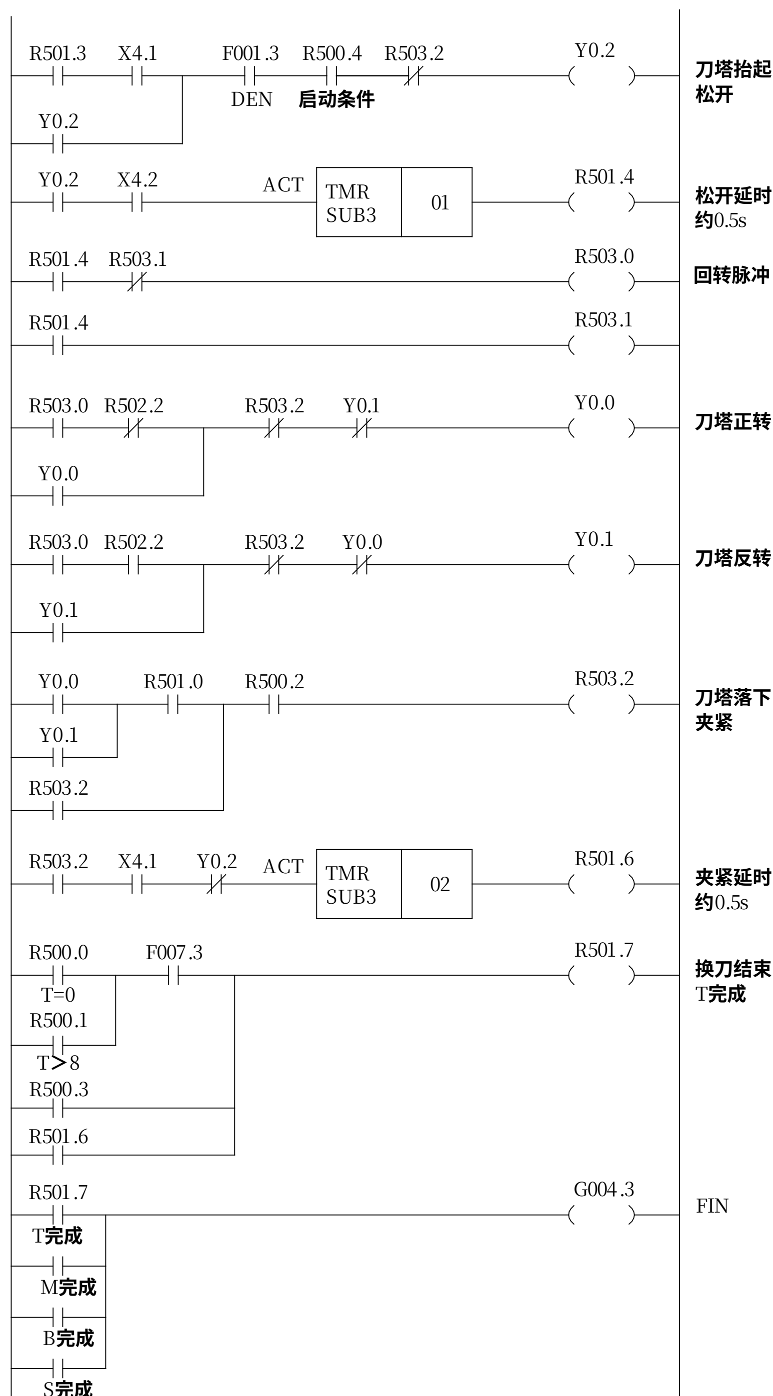


图 5-13　换刀控制和结束应答程序

程序在 CNC 加工程序中的编程刀号正确（R500. 2 = 1）且现行刀号和 CNC 编程刀号不一致时（R501. 1 = 0），通过图 5-11 中的刀架启动信号 R501. 3 启动执行。

当刀架启动信号 R501. 3 为“1”时，如刀塔位于夹紧状态（X4. 1 = 1），且坐标轴定位完成（DEN = 1）、刀塔换刀的其他执行条件也已满足（R500. 4 = 1），则刀塔抬起和松开电



磁阀 Y0.2 = 1，刀塔抬起、松开。

刀塔松开到位后，检测开关 X4.2 的输入将为“1”。但是，考虑到实际刀架的松开检测开关的位置调整不可能十分准确，为确保刀塔的可靠松开，检测信号 X4.2，需要经过定时器 T1（0.5s 左右）的延时，才能启动刀架的回转。

刀塔松开延时一旦到达，R501.4 将为“1”，其上升沿可根据前述捷径选择程序所产生的转向输出 R502.2 的状态，启动刀塔正转（Y0.0）或反转（Y0.1）。同时，R501.4 将复位换刀启动信号 R501.3，但刀塔松开的电磁阀 Y0.1 仍需要保持“1”，以保证刀塔在回转分度时，始终处于松开状态。

由于刀位一致判别指令在 R500.2 = 1 的整个换刀过程中始终有效，因此，当刀塔回转（Y0.0 或 Y0.1 为“1”期间）到达 CNC 的 T 代码指定位置时，刀号一致判别程序中的 R501.0 将为“1”，使程序中的刀塔落下、夹紧信号 R503.2 为“1”。R503.2 = 1 可复位刀塔松开电磁阀 Y0.2、撤销刀塔正转或反转输出 Y0.0 或 Y0.1，使刀塔回转停止并夹紧。

刀塔夹紧到位后，夹紧检测开关 X4.1 将为“1”，同样，为了保证可靠夹紧，这一信号需要通过定时器 T2（0.5s 左右）的延时，才能产生换刀结束完成信号。夹紧延时一旦到达，R501.6 将为“1”，这一信号可通过 R501.7，输出 T 代码执行完成应答信号 FIN（G004.3），结束 CNC 的 T 代码执行。

CNC 接收到 FIN 信号后，将自动撤销 TF 信号（F007.3），程序中的 R500.2 将为“0”，因此，刀塔落下夹紧信号 R503.2、夹紧到位信号 R501.6、T 代码执行完成应答信号 FIN 也将被自动撤销，整个换刀过程随之结束。

图 5-13 中的换刀完成应答程序的设计思路和电动刀架一致，有关内容可参见 5.2 节。当加工程序中的编程刀号出错（R500.0 或 R500.1 为 1），或现行刀号和编程刀号一致（R500.3 为 1）时，PMC 将直接输出 R501.7 和 FIN（G004.3）信号，结束 T 代码执行。

5.4　高速刀架控制程序

5.4.1　程序设计要求

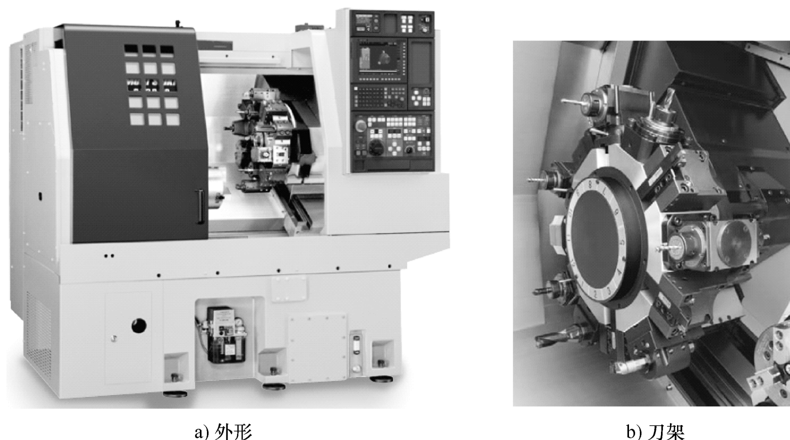
1. 结构特点

在图 5-14 所示的高性能、全功能数控车床或车削中心上，换刀一般采用专门设计的高速液压刀架。高速液压刀架可安装的刀具数量一般在 10 把以上，刀架的结构复杂、分度精度高，并可双向连续回转、捷径选刀，其换刀速度非常快。

车削中心是具备 Cs 轴控制、可安装动力刀具、进行回转体表面孔加工和铣削加工的简单车铣复合加工机床，刀架需要安装高速旋转的动力刀具，其内部结构相当复杂。但是，用于刀具自动交换的刀塔回转分度、刀塔定位机构的结构和原理，通常都与数控车床高速液压刀架相同。

图 5-14b 所示的高速液压刀架一般由刀架体、刀塔、刀塔松夹油缸和定位齿牙盘、齿轮或蜗杆/蜗轮传动机构等主要部件组成，这种刀架与液压通用刀架的区别在于：刀架的回转分度通常采用齿轮或蜗杆/蜗轮直接传动，刀塔可进行无停顿的双向连续回转，因此，其分度速度高于液压通用刀架。





a) 外形　　b) 刀架

图 5-14　高速高精度车削机床及刀架

高速液压刀架的刀塔回转分度，一般有液压回转油缸驱动或伺服电动机驱动两种不同的形式。采用伺服电动机驱动的刀塔，其回转分度可直接通过伺服驱动系统实现，不仅回转速度快，而且分度时能自动加减速，并通过伺服系统的闭环位置控制功能实现粗定位，因此，回转分度一般不需要有到位减速、粗定位插销等动作，刀架的机械结构简单、定位准确可靠、回转迅速、速度调整方便。但是，此类刀架需要使用 PMC 控制轴或 I/O-Link 轴进行驱动，其电气控制系统的成本相对较高；另外，在 PMC 控制程序上，还需要将刀塔的回转方向、回转分度数等转换为伺服驱动系统的运动方向和距离，并编制 PMC 轴或 I/O-Link 轴控制程序，故多用于对换刀性能要求非常高的进口高速、高精度数控车床或车削中心、车铣复合加工机床等场合。

2. 控制要求

采用液压回转油缸驱动刀塔分度是高速液压刀架的常见形式。采用液压回转油缸驱动时，由于液压油缸不具备闭环位置控制和自动加减速功能，因此，刀塔的分度定位通常需要有提前减速、粗定位插销等动作，以保证分度定位的基本准确；但刀塔的松夹和准确定位，仍需要通过松夹油缸和精密齿牙盘实现。

图 5-15 为采用液压回转油缸驱动的高速液压刀架的典型液压系统原理图，刀架的换刀过程及电磁元件的动作如表 5-4 所示，刀架的换刀过程如下。

1）刀塔抬起。刀塔的抬起通过电磁阀 Y1 控制液压油缸实现，刀塔抬起后定位齿牙盘脱开、松开检测开关 S2 发信，刀塔可在液压回转油缸的驱动下进行双向回转。

2）回转选刀。刀塔的回转选刀通过电磁阀控制液压回转油缸实现，刀塔的回转选刀过程中，抬起电磁阀 Y1 必须保持通电状态。刀塔的回转有两种转速：当回转距离大于等于 2 个刀位时，电磁阀 Y2（正转）或 Y3（反转）接通，刀塔快速回转（一般在 30r/min 以上）；当回转距离或剩余位置为 1 个刀位时，电磁阀 Y2 或 Y3 接通的同时，电磁阀 Y4 接通，刀塔慢速回转（一般为 5r/min 以下）。

3）粗定位插销。当回转距离小于 1 个刀位、刀塔慢速回转分度一段时间（通常为 0.5s 左右）后，如指定刀位到达，刀塔的粗定位插销电磁阀 Y5 将接通，插销在弹簧力的作用下伸出，进行刀塔的粗定位。



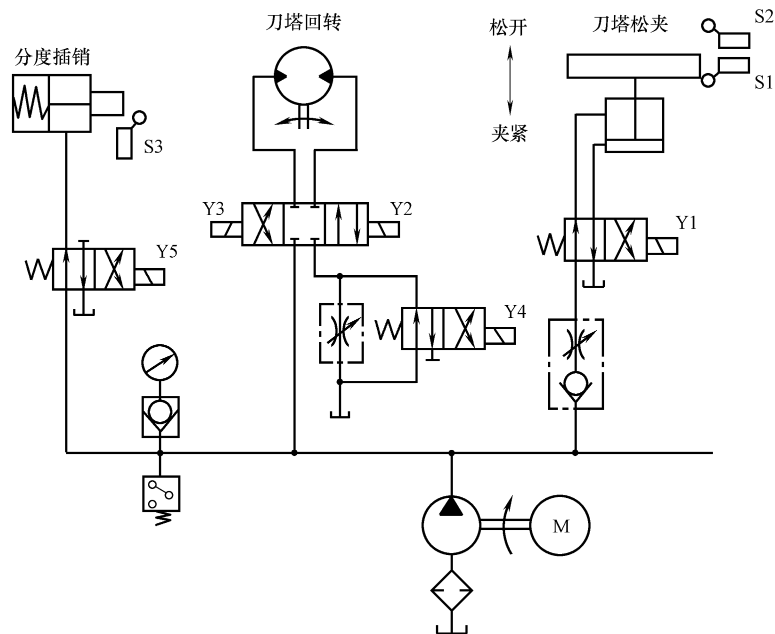


图 5-15　高速刀架的液压系统原理图

表 5-4　液压刀架的换刀过程及电磁元件动作表

序号	换刀动作	电磁元件动作				检测开关		
		Y1	Y2 或 Y3	Y4	Y5	S1	S2	S3
0	初始状态	—	—	—	—	+	—	—
1	刀塔抬起、松开	+	—	—	—	—	+	—
2	刀塔快速回转	+	+	—	—	—	+	—
3	刀塔慢速回转	+	+	+	—	—	+	—
4	分度定位插销	+	+	+	+	—	+	+
5	刀塔落下、夹紧	—	—	+	—	+	—	+
6	分度定位拔销	—	—	—	—	+	—	—

注：+：电磁阀接通或开关发信；—：电磁阀断开或开关不发信。

4）刀塔夹紧。刀塔回转到位、粗定位完成后，插销检测开关 S3 发信，回转电磁阀 Y2（或 Y3）、Y4 断开；同时，断开刀塔抬起电磁阀 Y1，使刀塔落下、准确定位的齿牙盘啮合并夹紧，刀塔被精确定位。

5）粗定位拔销。刀塔落下夹紧完成后，夹紧检测开关 S1 发信，刀塔粗定位插销电磁阀 Y5 断开，刀架恢复到初始状态。

3. PMC 地址

高速液压刀架的实际刀位可通过绝对编码器、二进制编码的接近开关或刀位计数开关进行检测。采用绝对编码器或二进制编码的接近开关时，可直接检测刀号；采用刀位计数时，则需要通过 5.3 节通用液压刀架同样的 PMC 计数程序，进行实际刀位的计算，以获得实际刀位检测信号。

假设上述刀架的刀位检测采用的是二进制编码的接近开关或绝对编码器，则可得到自动

换刀的 PMC 信号及地址如表 5-5 所示。

表 5-5　通用液压刀架控制信号一览表

代 号	名　　称	类 别	PMC 地址	备　注
DEN	分配结束	CNC-PMC 接口信号输入	F001. 3	“1”坐标轴运动结束
T00 ~ T31	T 代码	CNC-PMC 接口信号输入	F026 ~ F029	32 位二进制 T 代码
TF	T 代码选通	CNC-PMC 接口信号输入	F007. 3	“1”T 代码输出有效
TMC	刀位检测	机床信号输入	X4. 0 ~ X4. 3	参考地址
S1	刀塔夹紧	机床信号输入	X4. 4	参考地址
S2	刀塔松开	机床信号输入	X4. 5	参考地址
S3	插销到位	机床信号输入	X4. 6	参考地址
FIN	辅助功能结束	CNC-PMC 接口信号输出	G004. 3	M/S/T/B 执行完成
Y1	刀塔松夹	机床输出	Y0. 0	参考地址,1:松开;0:夹紧
Y2	刀塔正转	机床输出	Y0. 1	参考地址
Y3	刀塔反转	机床输出	Y0. 2	参考地址
Y4	刀塔减速	机床输出	Y0. 3	参考地址
Y5	定位插销	机床输出	Y0. 4	参考地址,1:插销;0:拔销

表 5-5 中的刀位检测、刀塔松开/夹紧、粗定位插销检测开关的输入地址，以及刀塔正转/反转、刀塔松开/夹紧、粗定位插销电磁阀的输出地址可根据实际机床的 I/O 配置改变。

5. 4. 2　PMC 程序典例

高速液压刀架的换刀控制程序与通用液压刀架类似，PMC 程序需要有刀号出错检查、刀号一致判别、捷径选择、刀架回转控制、完成应答等部分，但是，刀架回转分度控制需要有粗定位插销动作。用于高速液压刀架控制的典型 PMC 程序如下。

1. 刀号出错检查与一致判别

高速液压刀架的刀号出错检查、刀号一致判别程序与电动刀架、通用液压刀架基本相同，有关内容可参见 5. 2 节、5. 3 节。图 5-16 所示的程序可用于 12 刀位刀架的控制。

1）刀号出错检查。图 5-16 的 PMC 程序同样利用了 2 条 4 字节二进制数据比较的功能指令 COMPB（SUB32），将 CNC 输出的 T 代码与常数 0 和 12 进行了比较，如 CNC 加工程序中的编程刀号 T = 0，则刀号编程出错信号 R500. 0 = 1；如 T > 12，则刀号编程出错信号 R500. 1 = 1。刀号编程出错时，一方面可通过机床报警处理的 PMC 程序，产生机床报警或操作者出错信息；另一方面，可通过后述的 T 代码应答程序，直接输出辅助功能执行完成信号 FIN（G004. 3）、结束 T 指令。

2）刀号一致判别。如 CNC 编程刀号正确，程序中的 R500. 2 = 1，这时，可通过 1 字节“位与”指令 MOVE（SUB8）读取实际刀号的输入信号 X4. 0 ~ X4. 3，并将其保存到 R510 中。由于机床的实际刀号为二进制编码输入且最大刀号小于 255，因此，只需要通过 1 字节二进制数据比较指令 COMPB（SUB32），进行 R510 和 T 代码输出最低字节 F026 的比较。

如换刀开始时实际刀号已和 CNC 编程的 T 代码一致（R501. 0 = 1），则可通过换刀启动脉冲 R501. 1 使 R500. 3 = 1，PMC 将直接输出辅助功能执行完成信号 FIN（G004. 3）、结束 T





图 5-16　刀号出错和一致判别程序

指令；如刀号不一致，则 R501. 3 = 1，启动换刀。

实际刀号读取和刀号比较指令在整个换刀过程中始终有效，因此，当换刀起动后，如果刀塔回转到 T 代码指定的刀位，同样可输出刀号一致信号 R501. 0；但由于 R500. 3 仅在换刀启动脉冲 R501. 1 出现时才能置“1”，因此，在换刀过程中所出现的刀号一致，不会产生 R500. 3，使得换刀过程提前结束。

2. 捷径选择和减速判别

高速液压刀架的刀塔需要双向回转、提前减速和插销粗定位，因此，换刀时需要有判别

刀塔转向的捷径选择和提前减速的判别程序，以生成刀塔回转的转向和提前减速信号。

为了简化刀架的结构，高速液压刀架的提前减速一般在刀塔到达 T 代码指令的前一位置时进行，因此，FS-0iD 等 CNC 的捷径选择和提前减速判别，可直接通过 PMC 的二进制回转控制功能指令 ROTB（SUB26）实现。以上述 12 刀位高速液压刀架为例，其典型的 PMC 程序如图 5-17 所示。

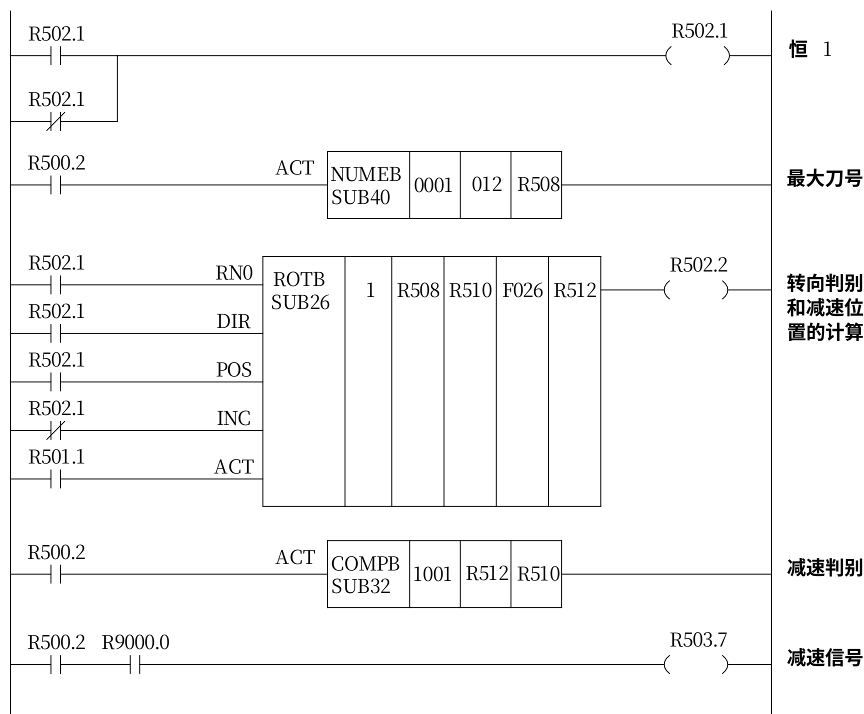


图 5-17　捷径选择和减速判别程序

二进制回转控制功能指令 ROTB（SUB26）需要通过存储器地址来指定回转体的最大分度数，因此，对于使用二进制编码开关作为刀位检测的机床，需要在执行 ROTB 指令前，通过 1 字节二进制数据传送指令 NUMEB（SUB40），将最大刀位数 12（十进制常数）转换为二进制格式、保存到 R508 中，作为 ROTB 指令的回转体分度数输入。

程序中的二进制回转控制指令 ROTB（SUB26）具有捷径选择和减速位置计算两方面的作用，指令只需要在换刀开始的瞬间，利用 TF 信号 R500. 2 的上升沿 R501. 1 执行一次。

ROTB 指令中的控制条件和参数定义如下。

RN0 =1：回转计数的初始值（刀塔的最小刀号）为“1”。

DIR =1：捷径选择功能有效。转向信号可通过结果寄存器 R502. 0 输出，R502. 2 =0 为正转，R502. 2 =1 为反转。

POS =1：以目标位置（T 代码指令位置）的前一位置为基准，计算并在结果存储器 R512 上输出刀塔需要回转的刀位数或刀塔的定位目标位置。

INC =0：结果存储器 R512 上的输出为前一位置的刀位分度值（刀号）。

ACT：指令执行启动信号，利用换刀启动脉冲 R501. 1 启动指令；在换刀启动后，将不再执行 ROTB 指令。



ROTB 指令中的参数定义如下。

1：指令数据的长度为 1 字节。由于机床的实际有效刀号为 T1 ~ T12，故只需要进行实际刀号、指令刀号的最低字节运算。

R508：回转体的最大分度位置值（最大刀号），R508 的数值由前述的指令 NUMEB（SUB40）定义。

R510：回转体的当前位置（当前刀号）。R510 的数值来自前述刀号出错和一致判别程序中的指令 MOVE（SUB8），它是实际刀号检测输入 X4. 0 ~ X4. 3 的二进制编码信号。

F026：回转的目标位置。它就是 CNC 输出的 T 代码指定位置。

R512：结果存储器。控制条件 POS = 1、INC = 0 时，其输出为 T 代码指令位置前一位置的分度位置值（刀号）。

R502. 2：转向输出。刀塔的捷径回转的转向，R502. 2 = 0 为正转，R502. 2 = 1 为反转。

程序中的 1 字节二进制数据比较指令 COMPB（SUB32）用于实际刀号输入 R510 和提前减速的分度位置值 R512 间的比较，如两者相等，则 R503. 7 = 1，刀塔的回转将由快速变为慢速。COMPB 指令在整个换刀过程中始终有效，只要刀塔回转到达减速的刀位，R503. 7 便可输出“1”。

3. 回转控制和完成应答

刀架回转和完成应答程序如图 5-18 所示。当换刀启动信号 R501. 3 为“1”时，如刀塔处于落下夹紧（X4. 4 = 1）、拔销（X4. 6 = 0）的初始位置，且启动条件满足，刀塔抬起电磁阀 Y0. 0 将被接通并自锁，刀塔抬起、松开。

刀塔抬起后，松开检测开关 X4. 5 将为“1”，信号经过延时（通常为 0. 2s 左右），信号 R501. 4 将为“1”，它一方面可产生回转脉冲 R503. 0，启动刀塔正转（Y0. 1 = 1）或反转（Y0. 2 = 1）；同时又可复位起动信号 R501. 3。

当刀塔回转到达减速刀位，前述的减速判别指令将输出减速信号 R503. 7 = 1，刀塔减速电磁阀 Y0. 2 接通并保持，刀架慢速回转。当刀塔慢速回转 0. 5s 左右（时间可调整），将接近目标刀位，这时，如目标刀位到达，刀号一致判别信号 R501. 0 将为“1”，粗定位插销电磁阀 Y0. 4 接通，插销将在弹簧力的作用下伸出并插入到刀塔定位槽内，刀塔回转将禁止。

插销插入后，检测信号 X4. 6 将为“1”，刀塔落下、夹紧信号 R503. 2 = 1。R503. 2 = 1 后，刀架抬起电磁阀 Y0. 0、正反转电磁阀 Y0. 1 或 Y0. 2、减速电磁阀 Y0. 3 的输出将被撤销，但插销电磁阀 Y0. 4 的输出保持，刀塔在粗定位状态下落下、夹紧。夹紧到位后，检测信号 X4. 4 为“1”，此信号经夹紧延时后便可使 R501. 6、R501. 7 为“1”，PMC 输出辅助功能执行完成信号 FIN（G004. 3）。

CNC 接收到 PMC 的 FIN 信号后，将自动撤销 TF 输出 F007. 3，使 R500. 2 = 0。R500. 2 为 0 时，将撤销插销电磁阀 Y0. 4 的输出和落下夹紧信号 R503. 2，并通过 R503. 2 = 0 使得 R501. 6、R501. 7 及 FIN（G004. 3）为“0”，结束换刀过程。

图 5-18 中的换刀完成应答程序的设计和电动刀架、通用液压刀架一致，有关内容可参见 5. 2 节、5. 3 节。程序在编程刀号出错（R500. 0 或 R500. 1 为 1），或实际刀号和程序刀号一致（R500. 3 为 1）时，PMC 将直接输出 R501. 7 和 FIN（G004. 3）信号，立即结束 T 代码执行。在其他情况下，则在换刀完成、刀塔夹紧后，通过 R501. 6 结束 T 代码。

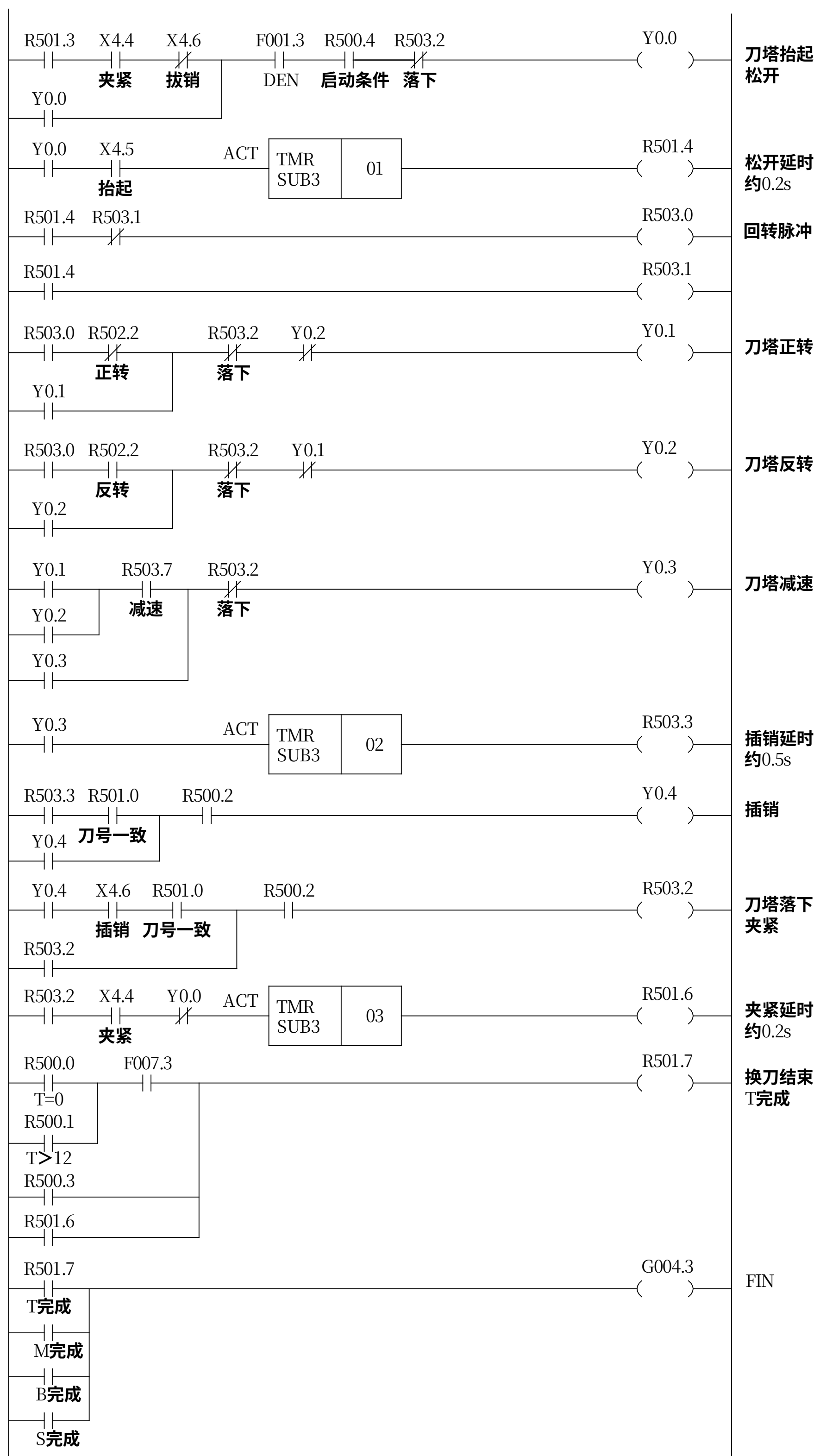


图 5-18 换刀控制和结束应答程序

第 6 章

加工中心换刀程序典例

6.1 刀库移动式换刀控制

6.1.1 程序设计要求

1. 基本说明

总体而言，加工中心的自动换刀可分为无机械手直接换刀和机械手换刀两大类。

（1）无机械手直接换刀

采用无机械手直接换刀的加工中心，刀具交换可通过刀库或主轴的相对运动实现，刀具在刀库中的安装位置一般不变，自动换刀装置的结构简单、控制容易。但是，这种换刀方式在换刀时，首先需要将主轴上的刀具放回刀库，然后进行刀库回转选刀、主轴装刀等动作，因此，如不采用刀具缓冲等特殊结构，其换刀时间一般较长，故多用于对换刀速度要求不高的普通加工中心或大、中型加工中心。

无机械手直接换刀加工中心的换刀有刀库移动式和主轴移动式两种。刀库移动式换刀的主要运动通过气动或液压系统控制刀库移动实现，它多用于中小型工作台移动式加工中心，是普通中小型加工中心最简单、最常见的结构。完全主轴移动式换刀的刀库安装位置固定，换刀的主要运动通过 *X*、*Y*、*Z* 轴的运动实现，它常用于大中型立柱移动式、箱体移动式或龙门式加工中心的大规格刀具交换。

采用无机械手直接换刀的加工中心，刀具在刀库中的安装位置一般固定不变，其 PMC 程序设计较为简单，本节及 6.2 节将分别介绍刀库移动式及主轴移动式直接换刀的 PMC 程序典例。

（2）机械手换刀

采用机械手换刀的加工中心，换刀前可预先将下一把需要更换的刀具回转到刀库的换刀位，然后通过机械手的运动，一次性完成主轴和刀库侧的刀具交换，其换刀速度较快。但它需要有换刀机械手等部件，其自动换刀装置的结构较复杂、对可靠性要求较高，故多用于对换刀速度要求较高的中小型加工中心。

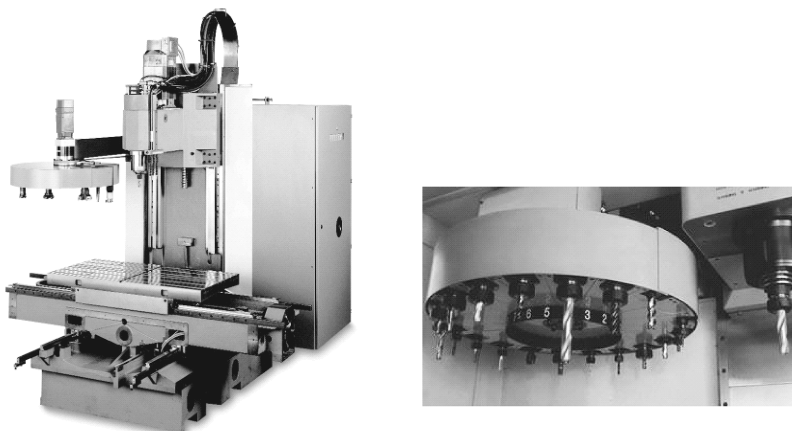
机械手的运动控制有机械凸轮联动和液压（或气动）控制两类。采用机械凸轮联动的自动换刀装置结构紧凑、动作固定、控制简单，但其刀具重量受到一定的限制，故多用于换刀速度较快的中小型加工中心。采用液压或气动控制的自动换刀装置布置灵活、动作可靠，可使用大规格刀具，故多用于大、中型加工中心。

在采用机械手换刀的加工中心上，刀具交换时总是需要将主轴上的刀具，安装到刀库下一把刀具的刀座（刀套）上，因此，随着刀具交换的进行，刀具在刀库中的安装位置将随机改变。故 PMC 程序设计时，需要在 PMC 或 CNC 上建立刀座和刀具的对应关系表（随机刀具表），其 PMC 程序相对较复杂，其典型 PMC 程序将在 6. 3 节、6. 4 节进行介绍。

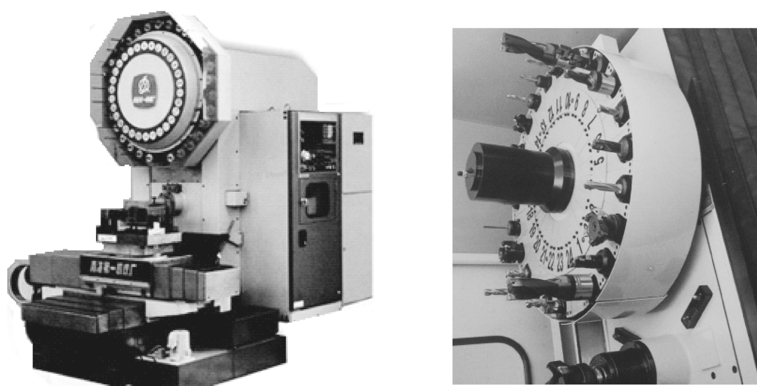
2. 结构特点

为了减轻机床运动部件的质量，提高安全可靠性，加工中心的刀库一般安装在机床的床身上。在工作台移动式加工中心上，由于主轴相对于床身的前后和左右的空间位置不能改变，因此，一般只能采用刀库移动式直接换刀或机械手换刀方式。

对于刀库容量不大、换刀速度要求不高的普通中小型加工中心，一般都采用图 6-1 所示的典型结构。这种机床的刀库形状类似于斗笠，故又称斗笠式刀库，它是普通加工中心最简单、最常见的换刀方式。



a) 立式



b) 卧式

图 6-1　采用斗笠式刀库的加工中心

斗笠式刀库可以通过改变刀库和主轴的相对位置，实现换刀，换刀可由刀库的运动实现，也可由主轴的运动实现，本节将介绍刀库移动式换刀控制的典型 PMC 程序，主轴移动式换刀的典型 PMC 程序可参见 6. 2 节。

刀库移动式换刀加工中心的刀库前后、上下移动，可通过气动或液压控制系统实现，刀



库的回转一般采用槽轮分度定位机构，换刀前后刀具在刀库中的安装位置保持不变，自动换刀装置的结构简单、控制容易、动作可靠。

无机械手换刀的不能实现刀具预选动作，换刀时必须先将主轴上的刀具放回刀库，然后才能进行刀库的回转选刀和装刀动作。因此，对于立式加工中心，其换刀一般需要有刀库前移抓刀、下移卸刀、回转选刀、上移装刀、刀库后退等一系列动作；对于卧式加工中心，则需要有刀库前移卸刀、回转选刀、后移装刀等动作，其换刀时间通常大于 5s。此外，斗笠式刀库的安装位置必须与主轴平行，立式加工中心的刀库还需要进行前后、上下移动，故刀库容量一般不能过大，刀具长度和重量受限；在安装有全封闭防护罩的机床上，刀库上的刀具装卸和更换也不方便，因此，多用于 20（立式）或 40（卧式）把刀以下、效率要求不高的普通中小型加工中心。

有关斗笠式刀库的机械结构和工作原理，可参见本书作者编写的《现代数控机床设计典例》（机械工业出版社，2014 年 4 月）一书。

3. 换刀动作

中小型立式加工中心的刀库运动，一般采用气动或液压系统进行控制，图 6-2 为典型的气动控制系统原理图，换刀时的电磁元件动作如表 6-1 所示。

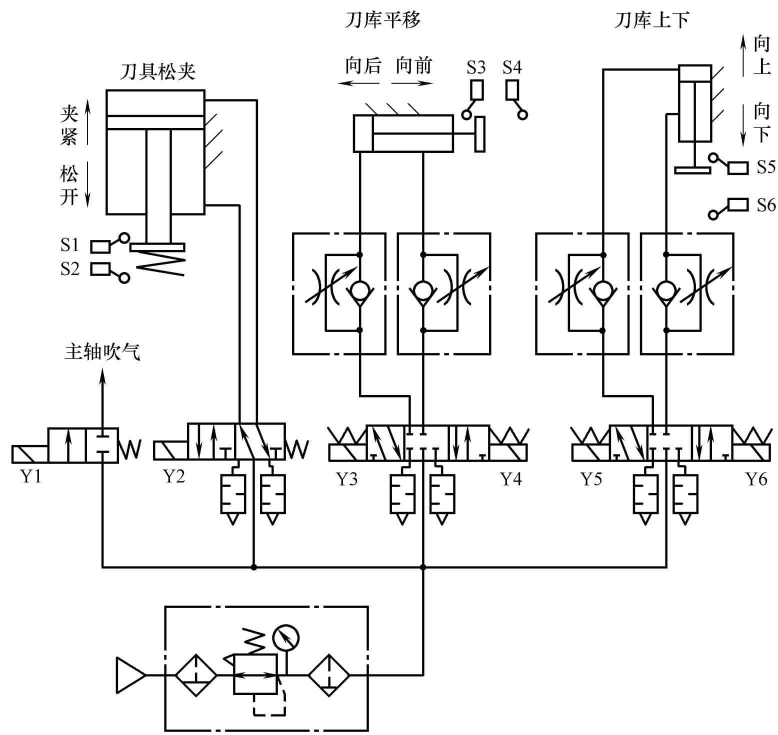


图 6-2　斗笠式刀库气动系统原理图

表 6-1　斗笠刀库换刀的电磁元件动作表

序号	换刀动作	电磁阀动作						检测开关动作					
		Y1	Y2	Y3	Y4	Y5	Y6	S1	S2	S3	S4	S5	S6
1	初始位置	—	—	—	+	—	+	+	—	+	—	+	—
2	刀库前移	—	—	+	—	—	+	+	—	—	+	+	—

（续）

序号	换刀动作	电磁阀动作						检测开关动作					
		Y1	Y2	Y3	Y4	Y5	Y6	S1	S2	S3	S4	S5	S6
3	刀具松开、吹气	+	+	+	—	—	+	—	+	—	+	+	—
4	刀库下移	+	+	+	—	+	—	—	+	—	+	—	+
5	回转选刀	+	+	+	—	+	—	—	+	—	+	—	+
6	刀库上移	+	+	+	—	—	+	—	+	—	+	+	—
7	刀具夹紧	—	—	+	—	—	+	+	—	—	+	+	—
8	刀库后移	—	—	—	+	—	+	+	—	+	—	+	—

注：+：电磁阀接通或开关发信；—：电磁阀断开或开关不发信。

卧式加工中心的刀库只需要进行前后移动和回转选刀，其控制比立式加工中心更简单，其气动系统和 PMC 程序只需要在立式加工中心的基础上简化，因此，本书不再对其进行专门说明。

斗笠式刀库的立式加工中心进行自动换刀时，刀库的运动过程如图 6-3 所示。

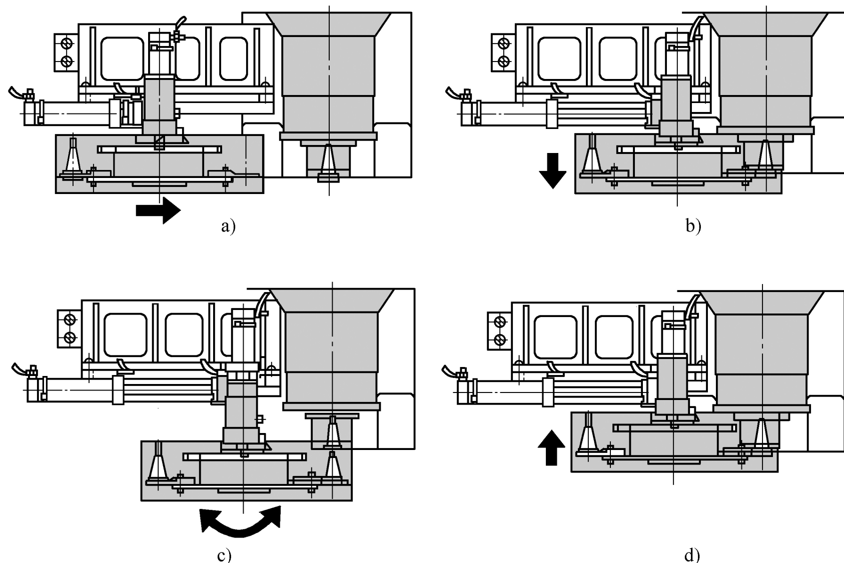


图 6-3 斗笠式刀库的换刀过程

1）换刀准备。机床正常加工时，刀库应处于后、上的初始位置，检测开关 S3、S5 发信。虽然气动系统的前后、上下控制阀采用的是带断电位置保持的 3 位五通电磁阀，但为了防止气动系统泄漏引起的刀库位置偏移，机床正常加工时，刀库的后移电磁阀 Y4 和上移电磁阀 Y6，仍需要保持接通状态。此外，在机床执行自动换刀指令 M06 前，首先需要进行主轴的定向准停，使主轴上的刀具键槽方向和刀库刀爪上的定位键一致；同时，主轴箱（*Z* 轴）需要快速运动到图 6-3a 所示的换刀位置，使主轴和刀库上的刀具处于水平等高位置，为刀库前移做好准备。

2）刀库前移抓刀。换刀开始后，刀库前移电磁阀 Y3 接通，刀库向右移动到图 6-3b 所示的主轴下方，使刀库上的刀爪插入到主轴刀具的 V 形槽中，完成抓刀动作。前移到位后，检测开关 S4 发信。

3）刀具松开、吹气。刀库完成抓刀后，用于刀柄清洁的主轴吹气电磁阀 Y1 和主轴上刀具松开的电磁阀 Y2 同时接通，主轴上的刀具被松开。松开到位后，检测开关 S2 发信。



4）刀库下移卸刀。主轴上的刀具松开后，刀库下移电磁阀 Y5 接通，刀库下移到图 6-3c 所示的位置，将主轴上的刀具从主轴锥孔中取出，完成卸刀动作。下移到位后，检测开关 S6 发信。

5）回转选刀。刀库下移到位后，驱动刀库回转的电动机起动，并通过槽轮分度机构，驱动刀库回转分度，将需要更换的新刀具回转到主轴下方的换刀位上。通过控制驱动电动机的正反转，刀库可实现双向回转、捷径选刀，电动机停止后，刀库能利用机械槽轮机构，自动实现定位。

6）刀库上移装刀。选刀完成后，刀库上移电磁阀 Y6 接通，刀库重新上升到图 6-3d 所示的上位，将新刀具装入到主轴的锥孔内，完成装刀动作。上移到位、装刀完成后，检测开关 S5 发信。

7）刀具夹紧。刀库装刀完成后，主轴吹气电磁阀 Y1 和松刀电磁阀 Y2 同时断开，主轴上的刀具将通过蝶形弹簧进行自动夹紧。夹紧到位后，检测开关 S1 发信。

8）刀库后移。刀具夹紧后，刀库后移电磁阀 Y4 接通，刀库后移到图 6-3a 所示的初始位置。后移到位后，检测开关 S3 发信，换刀结束；主轴箱（*Z* 轴）可向下运动，进行下一工序的加工。

上述刀库在整个换刀过程中，主轴箱（*Z* 轴）无须运动，所有换刀动作都通过刀库运动实现，完全由 PMC 程序控制。在部分立式加工中心上，以上第 4、第 6 步动作，也可通过 *Z* 轴（主轴箱）的上、下运动实现，这种机床的自动换刀需要有 CNC 坐标轴和刀库的联合运动，因此，一般需要利用用户宏程序和 PMC 程序进行联合控制，有关内容可参见 6.2 节。

4. PMC 程序设计要求

加工中心的自动换刀指令和数控车床有所不同，CNC 加工程序中的 T 代码，只用来指定刀具号（无机械手换刀）或控制刀库完成刀具预选（机械手换刀）；其自动换刀动作的执行，则需要通过 M06 等辅助功能指令实现。如加工程序中的刀号 T 和自动换刀指令 M06 分

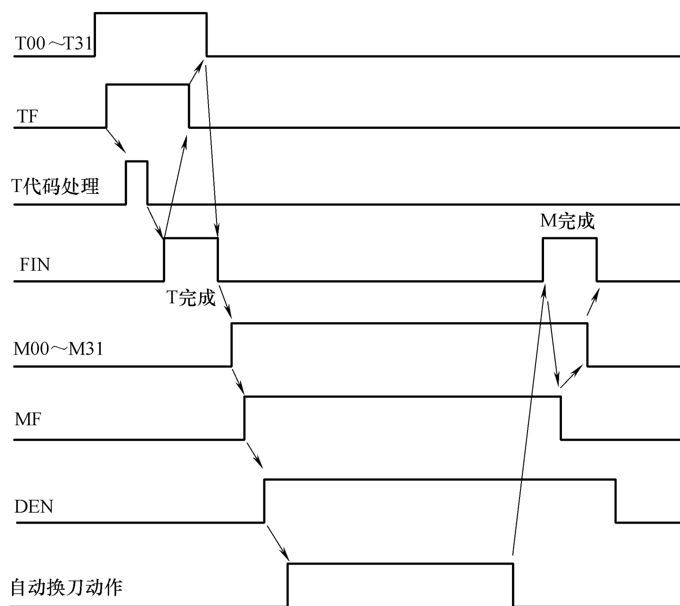


图 6-4　加工中心的换刀控制要求

别在不同程序段中编程，自动换刀 PMC 程序需要有图 6-4 所示的 T 代码和 M 代码处理两部分，T 和 M 代码执行完成后，都需要有辅助功能完成应答信号；如换刀指令在同一程序段上、以“T＊＊ M06”格式编程，则辅助功能完成应答原则上应由 M06 处理程序生成（见后述）。

在 FS-0iMD 等常用的 CNC 上，加工程序中的 T 代码、M 代码，以及与自动换刀控制相关的 PMC-CNC 接口信号的 I/O 地址如表 6-2 所示。表中的机床侧 I/O 信号地址，是根据表 6-1 气动控制系统要求所假设的参考地址，在实际机床上，刀位计数、刀具松开/夹紧、刀库前后/上下位置检测开关的输入地址，以及刀具夹紧/松开、刀库前后/上下电磁阀、刀库正/反转接触器的输出地址可根据机床的 I/O 配置改变。

表 6-2　斗笠式刀库控制信号地址一览表

代 号	名　称	类 别	PMC 地址	备　注
DEN	分配结束	CNC-PMC 接口信号输入	F001.3	“1”坐标轴运动结束
MF	M 代码选通	CNC-PMC 接口信号输入	F007.0	“1”M 代码输出有效
TF	T 代码选通	CNC-PMC 接口信号输入	F007.3	“1”T 代码输出有效
M00 ~ M31	M 代码	CNC-PMC 接口信号输入	F010 ~ F013	32 位二进制 M 代码
T00 ~ T31	T 代码	CNC-PMC 接口信号输入	F026 ~ F029	32 位二进制 T 代码
S1	刀具夹紧	机床信号输入	X4.0	参考地址,1:夹紧;0:松开
S2	刀具松开	机床信号输入	X4.1	参考地址,1:松开;0:夹紧
S3	刀库后位	机床信号输入	X4.2	参考地址,1:后位
S4	刀库前位	机床信号输入	X4.3	参考地址,1:前位
S5	刀库上位	机床信号输入	X4.4	参考地址,1:上位
S6	刀库下位	机床信号输入	X4.5	参考地址,1:下位
S7	刀位计数	机床信号输入	X4.6	参考地址
FIN	辅助功能结束	CNC-PMC 接口信号输出	G004.3	M/S/T/B 执行完成
Y1	主轴吹气	机床输出	Y0.0	参考地址,1:吹气
Y2	刀具松开	机床输出	Y0.1	参考地址,1:松开;0:夹紧
Y3	刀库前移	机床输出	Y0.2	参考地址,1:前移
Y4	刀库后移	机床输出	Y0.3	参考地址,1:后移
Y5	刀库下移	机床输出	Y0.4	参考地址,1:下移
Y6	刀库上移	机床输出	Y0.5	参考地址,1:上移
KM1	刀库正转	机床输出	Y0.6	参考地址,1:正转
KM2	刀库反转	机床输出	Y0.7	参考地址,1:反转

6.1.2　T 代码处理程序典例

在无机械手直接换刀的加工中心上，其 T 代码处理程序一般包括刀位计数、刀号出错检查、T 代码执行完成应答 3 部分。以 18 刀位的斗笠式刀库为例，典型的 PMC 程序如下。

1. 刀位计数

为了降低成本，方便安装调试，加工中心刀库的刀座号检测，一般采用计数开关计数方式实现，刀库可双向回转、捷径换刀。此外，由于无机械手直接换刀的加工中心，其刀具在刀库上的安装位置固定不变，为了简化 PMC 程序设计、便于调试和检查，CNC 加工程序中的刀具号 T 和刀库上的刀座（刀套）号，在绝大多数情况下是统一的。例如，执行加工程序中的指令 T15 M06，实际上就是将刀库刀座 15 上的刀具安装到主轴上，这一点与机械手换刀有明显的不同，因此，PMC 程序设计时也无须建立刀具表。

FS-0iD 等 CNC 用于加工中心控制时，其刀位计数同样可利用 PMC 的回转计数指令 CTR（SUB5）实现，其典型 PMC 程序如图 6-5 所示，有关计数指令 CTR 的功能和计数器参数的



详细说明可参见 5.3 节说明。

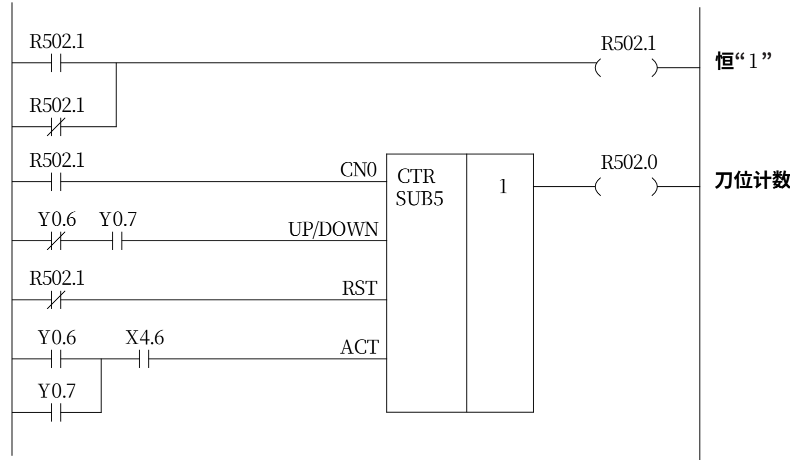


图 6-5　刀位计数程序

对于 18 刀位的斗笠式刀库，回转计数指令 CTR 中的回转体分度数（计数器 C1 的预置值）应为刀库的最大刀座号 18，预置值可通过 CNC 的 MDI/LCD 面板，在 PMC 计数器参数设定页面上设定。CTR 指令中的回转体起始分度值（计数器 C1 的初始值）应为刀库的最小刀座号 1，故 CTR 指令的控制条件 CN0 应为“1”。执行指令后，可在计数器 C1 所对应的计数存储器 C000 和 C002，读取刀库的预置值或刀库的现行位置值。

CTR 指令中的控制条件 UP/DOWN 用于计数方向控制，ACT 为上升沿有效的计数脉冲输入。当刀库正转时，回转电机的正转接触器 KM1 输出 Y0.6 = 1、反转接触器 KM2 输出 Y0.7 = 0，故 UP/DOWN 为“0”，计数开关 X4.6 每输入一个脉冲，现行计数值将加“1”；到达最大刀座号 18 后，可自动从计数初始值（最小刀座号 1）开始重新计数。刀库反转时，回转电机的正转接触器 KM1 输出 Y0.6 = 0、反转接触器 KM2 输出 Y0.7 = 1，故 UP/DOWN 为“1”，计数开关 X4.6 每输入一个脉冲，现行计数值将减“1”；到达最小刀座号 1 后，可自动从计数预置值（最大刀座号 18）开始重新计数。

CTR 指令中的结果输出 WRT（R502.0）在正向计数（加计数）到达计数器预置值、反向计数（减计数）到达初始值时输出“1”。在大多数情况下，这一信号不需要使用。

2. T 代码处理

加工中心的 T 代码处理程序包括刀号出错检查、T 代码执行完成应答 2 部分，18 刀位斗笠式刀库的 T 代码处理程序如图 6-6 所示。

（1）刀号出错检查

在无机械手换刀的加工中心上，由于 CNC 加工程序中的刀具号 T 和刀库上的刀座（刀套）号一致，故加工程序中的 T 代码范围必须与刀库的刀座数量相符。因此，对于 18 把刀的刀库，程序中的刀号出错检查使用了 2 条 4 字节二进制判别指令 COPMB（SUB32），分别进行 CNC 的 32 位 T 代码输出（F026 ~ F029）和常数 0 及 18 的比较。

当 CNC 加工程序中的编程刀号 T = 0 时，执行第 1 条 COPMB 指令后，PMC 的特殊内部继电器 R9000.0 = 1，刀号出错信号 R500.0 = 1 并保持。当编程刀号 T > 18 时，执行第 2 条 COPMB 指令后，PMC 的特殊内部继电器 R9000.1 = 1，刀号出错信号 R500.1 = 1 并保持。

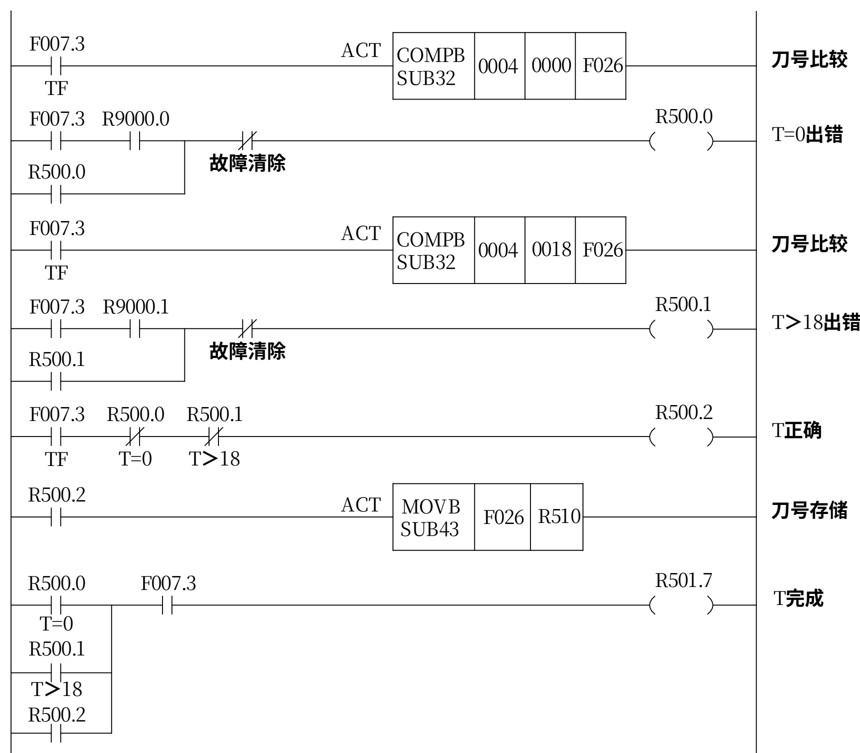


图 6-6　T 代码处理程序

R500.0 或 R500.1 为“1”时，一方面可通过 PMC 的机床报警处理程序，产生机床报警或操作者出错信息；另一方面，可通过后述的 T 代码应答程序，输出辅助功能执行完成信号 FIN（G004.3），直接结束 T 指令。

字节移动指令 MOVB（SUB43）用于 CNC 编程刀号的传送，对于容量为 18 把刀的刀库，CNC 的编程刀号范围为 T1～T18，因此，只需要将 32 位二进制 T 代码的最低字节 F026 传送至 R510 中。当 CNC 的编程刀号正确时，程序中的 R500.2 将为“1”，CNC 的编程刀号将被保存到 R510 中，以便用于自动换刀时的捷径选择和到位判别。

（2）T 代码应答

对于 T 代码和 M06 分别在不同程序段中编程的机床，需要进行 T 代码执行完成应答。在 CNC 执行 T 代码指令后，程序中的 R500.0、R500.1、R500.2 必然有 1 个为“1”状态，故 R501.7 为“1”。R501.7 将在后述的辅助功能应答程序中，直接作为辅助功能执行完成信号 FIN（G004.3）输出，以结束 CNC 的 T 代码程序段。CNC 在接收到 FIN 信号后，将自动撤销 TF 输出，使 R501.7＝0；R501.7＝0 后，FIN 信号重新变为“0”，CNC 的 T 代码执行完成。T 代码处理完成后，程序中的编程刀号出错信号 R500.0（或 R500.1）的状态、编程刀号存储器 R510 的内容仍保持不变，以便其他 PMC 程序进行必要的处理。

需要注意的是，由于 FS-0iD 的辅助功能 T、M 应答共用完成应答信号 FIN，因此，对于换刀指令以“T＊＊ M06”格式编程的加工中心，应取消程序中的 T 完成应答信号 R501.7，辅助功能的完成应答应在下述 M06 处理程序中进行。这一概念同样适用于后述的其他自动换刀方式，不再一一说明。



6.1.3　M 代码处理程序典例

加工中心的自动换刀一般由辅助功能指令 M06 进行控制。刀库移动式直接换刀加工中心的 M06 代码处理 PMC 程序，通常可分为 M06 译码和 ATC 启动、卸刀、回转选刀、装刀和完成应答 5 部分，其典型程序如下。

1. M06 译码和 ATC 启动

M06 译码和启动程序包括 M 代码转换（译码）、到位判别、自动换刀（ATC）启动等部分，典型程序如图 6-7 所示。



图 6-7　M06 译码和启动程序

程序中的 DECB（SUB25）为 4 字节二进制译码指令，指令的启动信号为来自 CNC 的 MF（F007.0）信号，输入数据为来自 CNC 的 32 位二进制 M 代码输出 F010 ~ F013、基准数据为 0003、结果寄存器为 R520。执行图中的 DECB 指令，可将 32 位二进制 M 代码 F010 ~ F013 中的 M03 ~ M10，依次转换为结果寄存器 R520.0 ~ R520.7 上的二进制位信号，因此，当 CNC 执行编程指令 M06 时，PMC 的内部继电器 R520.3 状态将成为“1”。

M06 指令生效时，程序中的刀库回转到位判别指令 COMPB（SUB32）将始终有效。如

R510 中所存储的 CNC 编程刀号和刀位计数器 C1 中的刀库现行刀号（即刀座号，计数存储器 C002 的值）一致，则回转到位信号 R501.0 将为“1”。如果 CNC 开始执行 M06 指令时，CNC 的编程刀号和刀库现行刀号已一致，则 M06 信号（R521.0）的上升沿脉冲 R521.1，将直接生成刀号一致信号 R500.3。

对于 CNC 编程刀号出错（R500.0 = 1 或 R500.1 = 1）、编程刀号和现行实际刀号一致（R500.3 = 1）的情况，程序中的 R500.6 将为“1”，此时，可通过后述的 M 代码完成应答程序，输出 M 代码执行完成信号 FIN（G004.3），直接结束 CNC 的 M06 执行过程。CNC 在接收到 FIN 信号后，将自动撤销 MF（F007.0）输出，使 R521.0、R500.6 复位，将 FIN 信号重新置为“0”。如 R500.6 = 0，且坐标轴运动已到位（DEN = 1）、自动换刀的其他启动条件（如主轴已完成定向准停、*Z* 轴已到达换刀位置等）R500.4 已满足，则产生自动换刀（ATC）启动脉冲 R521.3，启动后述的刀库自动换刀动作。

2. 卸刀

斗笠式刀库换刀时，首先要通过刀库前移抓刀、主轴上的刀具松开及刀库下移等动作，取下主轴上的刀具，这一过程称为“卸刀”。卸刀控制的典型 PMC 程序如图 6-8 所示。



图 6-8　卸刀程序



M06 指令生效时，如 CNC 编程刀号正确、刀库现行刀号和 CNC 编程刀号不一致，则前述程序中的 ATC（自动换刀）启动脉冲 R521.3 将为“1”。R521.3 =1 时，如刀库处于正常工作的初始位置（上位和后位），刀库前移电磁阀输出 Y0.2 将被接通；同时，它将撤销后述程序中的后移电磁阀输出 Y0.3，将刀库前移至主轴下方的换刀位置，完成抓刀动作。刀库前移电磁阀输出 Y0.2，需要一直保持到装刀完成、主轴上的刀具重新夹紧后，才能通过刀库后移脉冲 R523.4 撤销。

刀库到达前位、前位检测开关 X4.3 发信后，经 T1 的短时延时（约 0.5s），可产生松刀脉冲 R521.5，使主轴上的刀具松开、主轴吹气电磁阀输出 Y0.1、Y0.0 同时为“1”并保持；以松开主轴上的刀具、避免污物进入主轴锥孔。刀具松开、主轴吹气电磁阀输出 Y0.1、Y0.0，需要一直保持到选刀完成、新刀具装入主轴的刀库上移运动完成后，才能通过刀库夹紧脉冲 R523.2 撤销。此外，如机床不处在 M06 自动换刀工作状态，自动换刀启动信号 M06ST（R521.0）将始终为“0”，刀具松开、主轴吹气电磁阀输出 Y0.1、Y0.0 将被禁止，刀具将始终保持夹紧状态。

刀具松开、检测开关 X4.1 发信后，经 T2 的短时延时（约 0.5s），将产生刀库下移脉冲 R522.0。R522.0 =1 时，将接通刀库下移电磁阀输出 Y0.4，并撤销后述程序中的上移电磁阀输出 Y0.5，使刀库下移，将主轴中的刀具取出。刀库下移电磁阀输出 Y0.4，需要一直保持到刀库回转选刀完成，才能通过刀库上移脉冲 R523.0 撤销。

刀库到达下位、检测开关 X4.5 发信后，经 T3 的短时延时（约 0.5s），R522.2 将为“1”，以产生后述程序中的刀库回转选刀启动信号。

3. 回转选刀

回转选刀包括捷径选择和刀库回转两部分，其典型程序如图 6-9 所示。刀库的回转选刀启动脉冲 R522.3 由卸刀完成、刀库到达下位的延时输出 R522.2 生成。

在 FS-0iD 等 CNC 上，刀库的回转捷径选择可直接通过 PMC 的回转控制功能指令 ROTB（SUB26）实现，指令中的控制条件和参数定义如下。

RN0 =1：回转计数的初始值（刀库最小刀座号）为“1”。

DIR =1：捷径选择功能有效。转向信号可通过结果寄存器 R522.5 输出，R522.5 =0 为正转，R522.5 =1 为反转。

POS =0：以目标位置为基准，计算并在结果存储器 R512 上输出刀库需要回转的刀位数或刀库的定位目标位置。

INC =1：结果存储器 R512 上的输出为需要回转的刀位数。

ACT：指令执行启动信号。程序中利用回转启动脉冲 R522.3 启动指令、判别转向。

ROTB 指令中的参数定义如下。

1：指令数据的长度为 1 字节。由于机床的实际有效刀号为 T1 ~ T18，故只需要进行实际刀号、指令刀号的最低字节运算。

C000：指定回转体的最大分度值（最大刀座号 18）。ROTB 指令规定最大分度值需要以存储器地址的形式给定，因前述的刀位计数程序中，已定义计数器 C1 用于刀位计数，因此，C1 的计数存储器 C000，就是回转体的最大分度值（最大刀座号）。

C002：回转体的当前位置。就是 C1 的计数存储器 C002 中的现行计数值。

R510：回转的目标位置。它是 T 代码处理程序中所存储的 CNC 编程刀号。

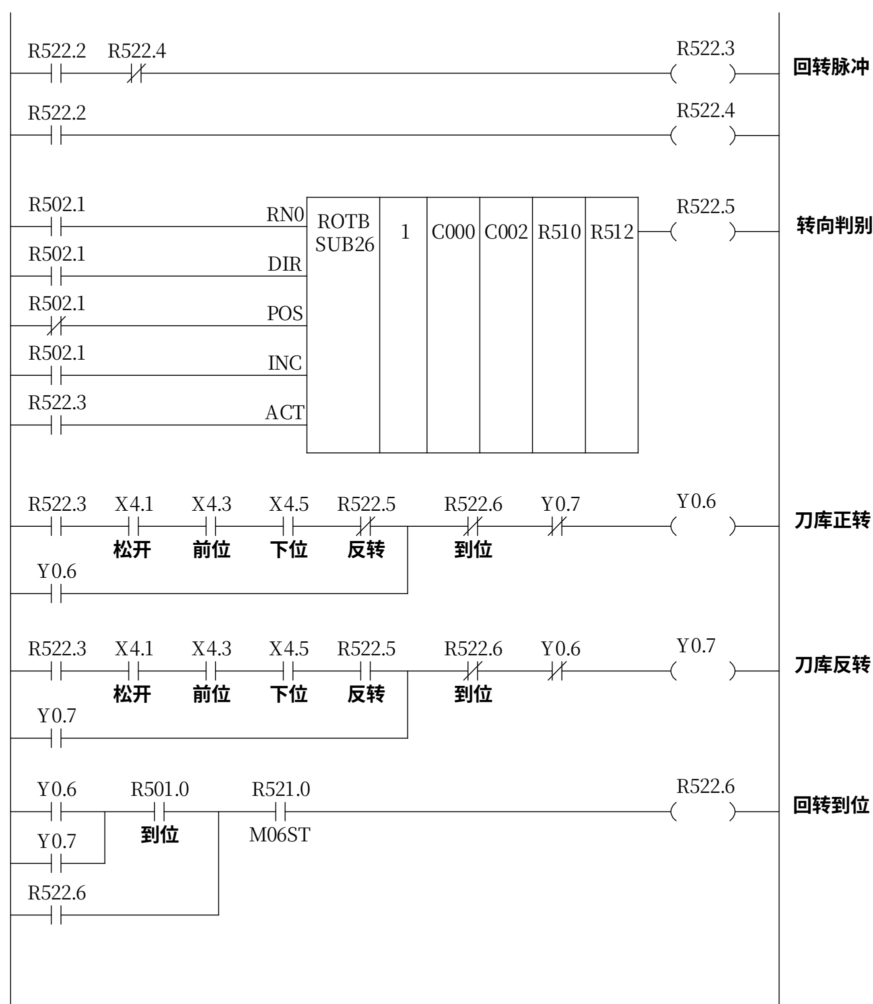


图 6-9　回转选刀程序

R512：结果存储器。R512 为需要回转的刀位数或刀塔的定位目标位置，该结果输出在只需要判别刀库转向的程序中一般不使用。

R522. 5：转向输出。刀库捷径回转的转向，R522. 5 =0 为正转，R522. 5 =1 为反转。

根据 ROTB 指令的转向输出结果 R522. 5，刀库的正转或反转接触器输出 Y0. 6 或 Y0. 7 将接通，刀库进行捷径回转选刀。由于前述图 6-7 程序中的回转到位判别指令在整个 M06 执行过程中始终有效，因此，一旦刀库回转到达 CNC 程序指定的目标位置，回转到位信号 R501. 0 将为“1”，信号 R522. 6 =1 并保持。R522. 6 =1 时，一方面将撤销刀库正转或反转输出、进行刀库的分度定位，同时可启动后述的装刀程序。

4. 装刀和完成应答

装刀和完成应答程序如图 6-10 所示。刀库回转到位后，R522. 6 将为“1”，该信号将生成刀库向上脉冲 R523. 0 为“1”。

R523. 0 =1 时，一方面可接通刀库上移电磁阀输出 Y0. 5，同时，将撤销前述卸刀程序中的下移电磁阀输出 Y0. 4，使得刀库上移，将新刀具装入机床主轴。由于机床非换刀时，刀



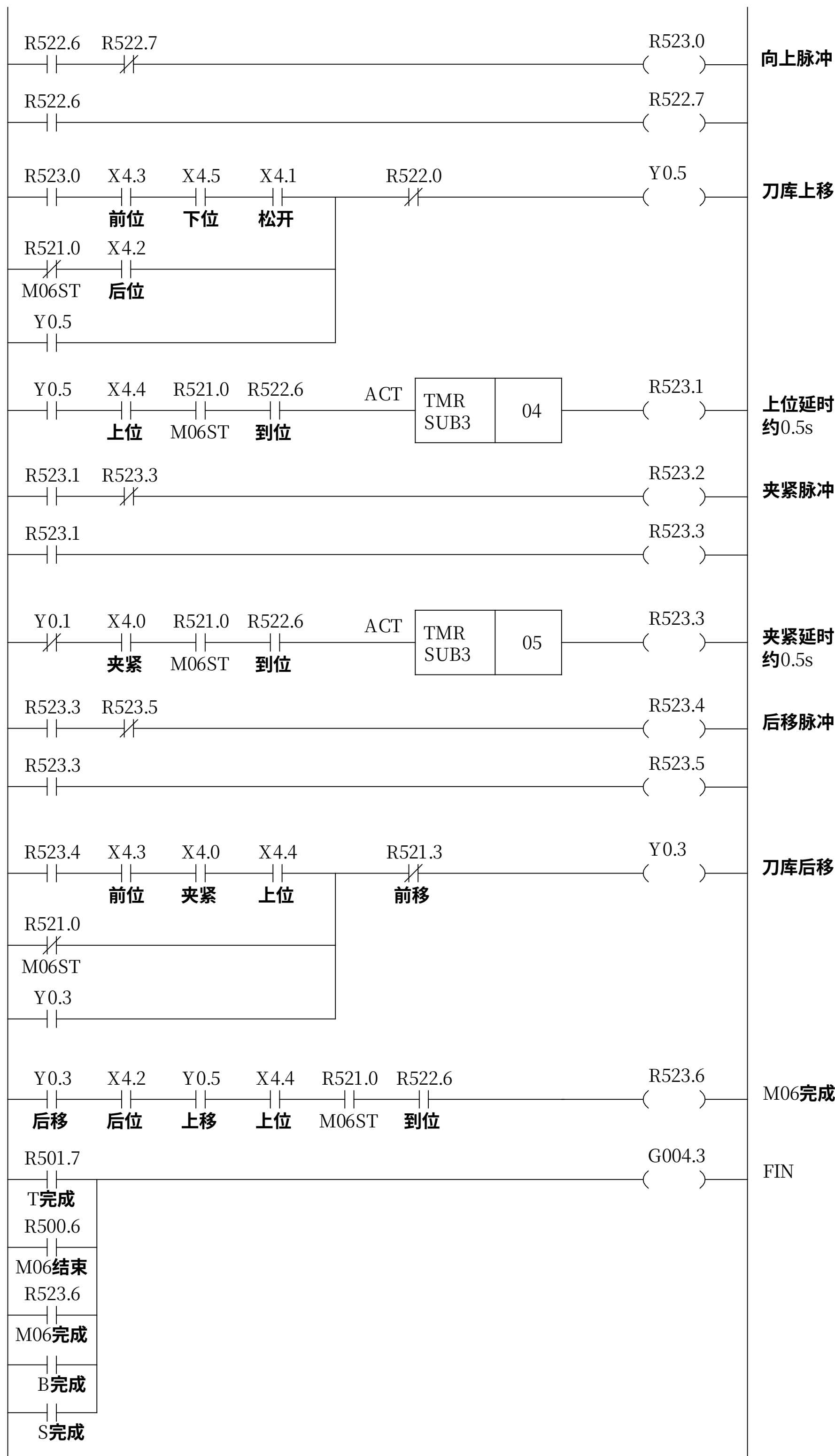


图 6-10　装刀和完成应答程序

库应通过上移电磁阀保持在上位，因此，上移电磁阀输出 Y0.5 只能在换刀启动后、刀库需要下移时，通过前述程序中的下移启动脉冲 R522.0 = 1 断开。如果机床不在自动换刀工作状态，自动换刀启动信号 M06ST（R521.0）将始终为“0”，此时，只要刀库处于后位（检测信号 X4.2 = 1），上移电磁阀输出 Y0.5 将始终保持接通，将刀库保持在上位。

刀库上移到位、检测开关 X4.4 发信后，经 T4 的短时延时（约 0.5s），将产生主轴刀具夹紧脉冲 R523.2。R523.2 = 1 时，将撤销前述卸刀程序中的刀具松开、主轴吹气电磁阀输出 Y0.1、Y0.0，重新夹紧主轴上的新刀具。由于从换刀开始直至刀库下移的动作过程中，刀库始终位于上位，因此，在产生主轴刀具夹紧脉冲 R523.2 的上移到位延时信号 R523.1 中，必须使用回转到位信号 R522.6 作为其启动互锁条件。

刀库夹紧到位、检测开关 X4.0 发信后，经 T5 的短时延时（约 0.5s），将产生刀库后移脉冲 R523.4。R523.4 = 1 时，将接通刀库后移电磁阀输出 Y0.3，同时撤销前述卸刀程序中的前移电磁阀输出 Y0.2，使得刀库后移，退出换刀位置。同样，由于机床不进行换刀时，刀库需要保持在后位，因此，后移电磁阀输出 Y0.3 只能在换刀启动后、刀库前移时，通过前移脉冲 R521.3 = 1 断开。如果机床不在自动换刀工作状态，自动换刀启动信号 M06ST（R521.0）将始终为“0”，此时，将通过 R521.0 = 0 始终保持接通。此外，由于在换刀开始、刀库前移的动作过程中，刀具始终处于夹紧状态，因此，产生刀库后移脉冲 R523.4 的夹紧到位延时信号 R523.3，同样必须以回转到位信号 R522.6 作为其启动互锁条件。

当刀库后移到位后，将通过后移阀输出 Y0.3、刀库后位信号 X4.2、上移阀输出 Y0.5、刀库上位信号 X4.4，及回转到位信号 R522.6，产生 M06 完成信号 R523.6。R523.6 = 1 后，可输出辅助功能执行完成应答信号 FIN（G004.3），结束 CNC 的 M06 指令执行过程。CNC 在接收到 FIN 信号后，将自动撤销 MF（F007.0）的输出，使 R521.0 和 R522.6 复位；R521.0 和 R522.6 为“0”后，又可将应答信号 FIN 重新置“0”，M06 指令执行结束。

由于 FS-0iD 等 CNC 的普通辅助功能应答，使用的是共同的完成应答信号 FIN（G004.3），因此，加工中心自动换刀指令“T * * M06”的完成应答，需要包括前述的 T 代码执行完成应答信号 R501.7、刀号出错或刀号一致时的 M06 结束信号 R500.6，及上述 M06 正常执行完成 R523.6 等。

6.2 主轴移动式换刀控制

6.2.1 程序设计要求

1. 基本说明

主轴移动式换刀有完全主轴移动式和主轴/刀库混合移动式两种。

完全主轴移动式换刀的加工中心如图 6-11 所示。这种机床的刀库安装位置固定，自动换刀时刀库只需要进行回转选刀运动；其他的抓刀、卸刀、装刀等动作，均通过机床的 *X/Z* 或 *Y/Z* 轴运动、改变主轴的位置实现。

采用完全主轴移动式换刀的加工中心，其刀库布置容易、结构刚性好、承载能力强，刀库的容量和刀具重量、刀具长度等不受结构的限制；刀库上刀具的手动装卸也较方便，因此，不仅可用于中小型加工中心，而且还可用于大中型立式、卧式或龙门式加工中心。但



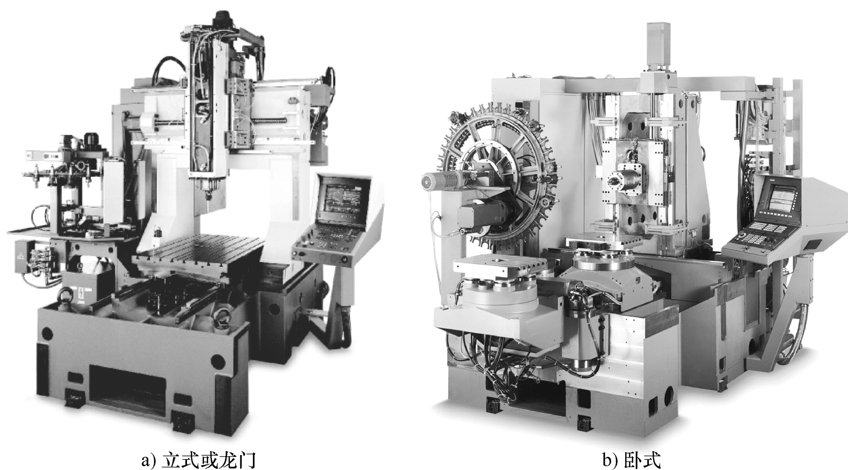


图 6-11　主轴移动式换刀加工中心

是，由于机床的刀库需要固定安装在床身上，为了进行刀具的装卸，立式加工中心的主轴至少应相对于刀库进行水平（*X* 轴或 *Y* 轴）及上下（*Z* 轴）的运动；卧式加工中心则至少需要进行左右或上下（*X* 轴或 *Y* 轴）及前后（*Z* 轴）的运动，故机床的基本结构需要采用立柱移动式、箱体移动式或立柱/箱体混合移动式布局。

主轴/刀库混合移动式换刀一般用于工作台移动的中小型立式加工中心。这种机床与 6.1 节所述的刀库移动式加工中心的区别仅在于：它以主轴箱（*Z* 轴）的上下代替了刀库的上下运动，其他的换刀动作完全相同。主轴/刀库混合移动式加工中心的刀库不需要上下移动，刀库的结构刚性、承载能力比刀库移动式稍强，气动和液压系统也相对简单，它是目前普通中小型立式加工中心普遍采用的换刀方式。

主轴移动式换刀的加工中心换刀时，需要进行刀库和 *X/Y/Z* 轴的联合运动，因此，一般需要由 CNC 用户宏程序和 PMC 程序进行联合控制。在完全主轴移动式换刀的加工中心上，自动换刀的绝大多数动作，都是控制 *X/Y/Z* 轴进行的特殊位置定位；PMC 程序只需要进行刀库的回转选刀和主轴刀具的松夹运动，其 PMC 程序十分简单，它只需要在后述 PMC 程序基础上进行简化，本书不再对此进行专门介绍。

2. 换刀动作

主轴/刀库混合移动式换刀加工中心的刀库前后移动和刀具松夹，仍可采用气动或液压系统控制。其典型的气动控制系统只需要在图 6-2 的基础上，去掉刀库上/下移动的电磁阀 Y5/Y6 和检测开关 S5/S6，其他部分完全相同。主轴/刀库混合移动式换刀时的电磁元件动作表如表 6-3 所示。

机床自动换刀时，其刀库的运动过程如图 6-12 所示。

1）换刀准备。机床正常加工时，刀库应处于后位，检测开关 S3 发信，为了防止气动系统泄漏引起的刀库位置偏移，机床不进行换刀时，刀库后移电磁阀 Y4 一般需要保持接通状态。在机床换刀开始、执行自动换刀指令 M06 前，首先需要进行主轴的定向准停，使主轴上的刀具键槽方向和刀库刀爪上的定位键一致；同时，主轴箱（*Z* 轴）需要快速运动到图 6-12a 所示的起始点 0，使主轴和刀库上的刀具处于水平等高位置，为刀库前移做好准备。

表 6-3　刀库换刀的电磁元件动作表

序号	换刀动作	电磁阀动作				检测开关				Z 轴
		Y1	Y2	Y3	Y4	S1	S2	S3	S4	
1	初始位置	—	—	—	(+)	+	—	+	—	起始点 0
2	刀库前移	—	—	+	—	+	—	—	+	起始点 0
3	刀具松开、吹气	+	+	+	—	—	+	—	+	起始点 0
4	Z 轴上移	+	+	+	—	—	+	—	+	+Z1(卸刀点)
5	回转选刀	+	+	+	—	—	+	—	+	+Z1(卸刀点)
6	Z 轴下移	+	+	+	—	—	+	—	+	起始点 0
7	刀具夹紧	—	—	+	—	+	—	—	+	起始点 0
8	刀库后移	—	—	—	+	+	—	+	—	起始点 0

注：+：电磁阀接通或开关发信；—：电磁阀断开或开关不发信。

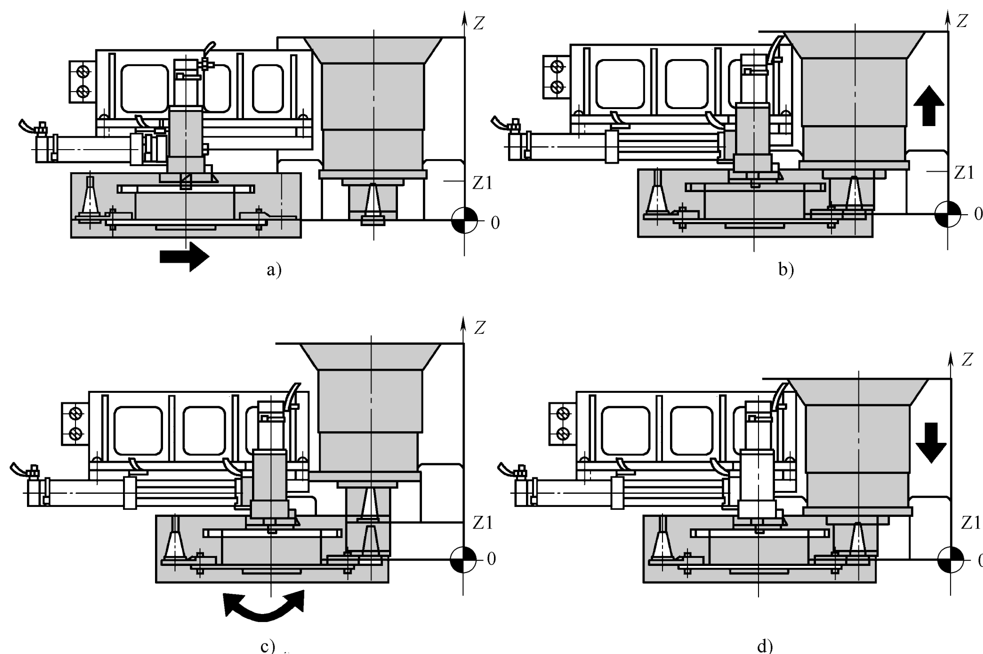


图 6-12　主轴移动式换刀加工中心的换刀过程

2）刀库前移抓刀。换刀开始后，刀库前移电磁阀 Y3 接通，刀库向右移到图 6-12b 所示主轴下方的换刀位置，使刀库上的刀爪插入到主轴刀具的 V 形槽中，完成抓刀动作。前移到位后，检测开关 S4 发信。

3）刀具松开、吹气。刀库完成抓刀后，用于刀柄清洁的主轴吹气电磁阀 Y1 和主轴上刀具松开的电磁阀 Y2 同时接通，主轴上的刀具被松开。松开到位后，检测开关 S2 发信。

4）*Z* 轴上移卸刀。主轴上的刀具松开后，*Z* 轴正向移到图 6-12c 所示的卸刀点 +Z1，将主轴上的刀具从主轴锥孔中取出，完成卸刀动作。

5）回转选刀。*Z* 轴上移到位、完成卸刀后，刀库的回转电动机起动，并通过槽轮分度



机构驱动刀库回转分度，将需要更换的新刀具回转到主轴下方的换刀位。刀库可通过驱动电动机的正反转，实现双向回转、捷径选刀，旋转停止后可通过槽轮机构实现自动定位。

6）*Z* 轴下移装刀。回转选刀完成后，*Z* 轴向下回到图 6-12d 所示的起始点 0，将新刀具装入到主轴的锥孔。

7）刀具夹紧。*Z* 轴下移到位后，主轴吹气电磁阀 Y1 和松刀电磁阀 Y2 同时断开，主轴上的刀具可通过蝶形弹簧自动夹紧。夹紧到位后，检测开关 S1 发信。

8）刀库后移。刀具夹紧后，刀库后移电磁阀 Y4 接通，刀库后移到图 6-12a 所示的初始位置。后移到位后，检测开关 S3 发信，换刀结束；主轴箱（*Z* 轴）可向下运动，进行下一工序的加工。

3. PMC 地址

主轴移动式换刀加工中心的自动换刀，一般需要通过特定的 CNC 用户宏程序指令和 PMC 程序进行联合控制。自动换刀时 PMC 程序需要进行 T 代码处理，然后，通过宏程序中的坐标轴移动指令控制坐标轴运动，并利用特殊的 M 代码控制刀库的运动。

FS-0iMD 等 CNC 的 T、M 代码的 PMC-CNC 接口 I/O 地址，及根据表 6-3 气动控制系统所假设的机床侧 I/O 信号地址如表 6-4 所示。表中的刀位计数、刀具松开/夹紧、刀库前后位置检测开关的输入地址，以及刀具夹紧/松开、刀库前后电磁阀、刀库正/反转接触器的输出地址可根据实际机床的 I/O 配置改变。

表 6-4　自动换刀控制信号 I/O 地址一览表

代号	名　　称	类别	PMC 地址	备注
DEN	分配结束	CNC-PMC 接口信号输入	F001.3	“1”坐标轴运动结束
MF	M 代码选通	CNC-PMC 接口信号输入	F007.0	“1”M 代码输出有效
TF	T 代码选通	CNC-PMC 接口信号输入	F007.3	“1”T 代码输出有效
M00 ~ M31	M 代码	CNC-PMC 接口信号输入	F010 ~ F013	32 位二进制 M 代码
T00 ~ T31	T 代码	CNC-PMC 接口信号输入	F026 ~ F029	32 位二进制 T 代码
S1	刀具夹紧	机床信号输入	X4.0	参考地址,1:夹紧;0:松开
S2	刀具松开	机床信号输入	X4.1	参考地址,1:松开;0:夹紧
S3	刀库后位	机床信号输入	X4.2	参考地址,1:后位
S4	刀库前位	机床信号输入	X4.3	参考地址,1:前位
S7	刀位计数	机床信号输入	X4.6	参考地址
FIN	辅助功能结束	CNC-PMC 接口信号输出	G004.3	M/S/T/B 执行完成
Y1	主轴吹气	机床输出	Y0.0	参考地址,1:吹气
Y2	刀具松开	机床输出	Y0.1	参考地址,1:松开;0:夹紧
Y3	刀库前移	机床输出	Y0.2	参考地址,1:前移
Y4	刀库后移	机床输出	Y0.3	参考地址,1:后移
KM1	刀库正转	机床输出	Y0.6	参考地址,1:正转
KM2	刀库反转	机床输出	Y0.7	参考地址,1:反转



6.2.2 用户宏程序设计典例

1. 用户宏程序

用户宏程序（简称宏程序）是 FANUC 数控系统的特殊编程功能，它可用于数控机床特殊加工程序或其他运动控制程序的编制，其主要特点如下。

1）宏程序可采用变量编程，程序中不仅可使用算术运算式、逻辑运算式、条件转移等高级语言编程指令，来自动计算、判别坐标轴位置，简化 CNC 加工程序；同时，它还可通过宏程序调用指令和变量的赋值功能，实现 CNC 加工程序的参数化编程，程序设计灵活、方便。

2）宏程序不仅可通过特定的变量，直接读取或改变 CNC 参数及工作状态数据，如坐标轴的当前位置值、CNC 的刀具补偿值、工件坐标系设定值、M/S/T/B 代码等；而且还可直接读取或输出 PMC 的 I/O 信号，以检查机床的工作状态、控制 PMC 程序的动作。

3）用户宏程序既可作为普通的加工程序独立执行，还可由 CNC 加工程序中的特定 G、M、T 代码，以子程序的形式直接调用，完成特定的机床动作。宏程序执行完成后，可自动返回到调用的程序段，继续执行原程序。

因此，对于主轴移动式换刀、工作台自动交换等需要通过 CNC 和 PMC 进行联合控制的特殊机床运动，采用宏程序进行编程，不仅可大大简化 PMC 程序设计，而且程序编制容易，机床调试、检查方便、工作可靠性高，它是机床生产厂家经常使用的设计方法之一。有关 FS-0iD 等 CNC 宏程序编制的详细内容可参见本书作者编写的《FANUC-0iD 编程与操作》（机械工业出版社，2013 年 5 月）一书。

2. 换刀宏程序设计

（1）宏程序调用

当用户宏程序用于加工中心自动换刀控制时，一般都通过 CNC 加工程序中的 M06 代码自动调用换刀控制的用户宏程序。为此，需要通过 CNC 参数的设定，确定调用自动换刀宏程序的 M 代码及所调用的用户宏程序号。

在 FS-0iD 等 CNC 上，调用用户宏程序的 M 代码可通过 CNC 参数 PRM6071～6079、PRM6080～6089 进行设定；M 代码可调用的宏程序号分别为 O9001～O9009、O9020～O9029。例如，当自动换刀控制的宏程序通过 M06 调用，换刀宏程序号为 O9001 时，可设定 CNC 参数 PRM6071=06，这样，只要 CNC 加工程序执行到 M06 指令，便可自动调用用户宏程序 O9001；如换刀宏程序号为 O9020，则可设定 CNC 参数 PRM6080=06 等。

用于宏程序调用的 M 代码将由 CNC 的操作系统进行内部处理，M 代码信号不再输出到 PMC，也无须 PMC 程序进行处理与完成应答。

（2）M 代码定义

为了便于 PMC 程序设计，在用户宏程序中，通常需要将自动换刀时的机床动作，分解成为由宏程序中特定的辅助功能代码 M 控制的独立动作。这样，不仅可简化 PMC 程序的设计，提高程序可靠性，而且还可通过 MDI 方式执行 M 代码，进行每一步动作的检查和动作调试。

对于上述主轴/刀库混合移动式换刀控制，其动作可分解为由以下 CNC 的 M 代码控制的独立运动。



M80：刀库前移；

M81：刀库后移；

M82：主轴刀具夹紧、吹气关闭；

M83：主轴刀具松开、吹气；

M84：刀库回转选刀。

根据机床的特点和要求，上述的 M80 ~ M84 代码也可以是与 CNC 内部控制无关的其他 M 代码，如 M50 ~ M54 等，但不能使用表 5-1 中系统生产厂规定用途的 M 代码。

（3）宏程序输入/输出

CNC 和 PMC 程序之间的二进制状态信号交换，可通过宏程序输入信号 UI000 ~ UI015 和宏程序输出信号 UO000 ~ UO015 进行。UI000 ~ UI015 为 PMC 传送到 CNC 的二进制位信号，其状态可利用 PMC 程序在 G054.0 ~ G055.7 上输出；在宏程序中，则可通过系统变量［#_UI［0］］~［#_UI［15］］进行读取。UO000 ~ UO015 为 CNC 传送到 PMC 的二进制位信号，其状态可利用宏程序对系统变量［#_UO［0］］~［#_UO［15］］的赋值进行改变；在 PMC 程序中，则可通过信号 F054.0 ~ F055.7 读取。

对于上述主轴/刀库混合移动式换刀控制，当加工程序中的 T 代码出错或主轴现行刀号和 CNC 指令刀号一致时，可通过宏程序输入信号 UI000（G054.0），将 PMC 程序中的信号传送到 CNC，并在宏程序中利用条件转移指令，直接结束换刀宏程序的执行。

3. 换刀宏程序典例

当机床自动换刀宏程序调用指令为 M06、宏程序号为 O9001（PRM6071 = 06），并假设自动换刀时的 *Z* 轴起始点 0 为 *Z* 轴参考点、卸刀行程为 120mm（参考值）、*Z* 轴移动速度为 5000mm/min（参考值）、*Z* 轴移动到位的延时为 0.5s（参考值），则按以上思路设计的主轴/刀库混合移动式换刀控制宏程序典例如下。

```
O9001;                              // M06 调用的自动换刀宏程序号
N1 IF [[#_UI[0]] EQ 1] GOTO 10;     // 刀号错误或刀号一致,跳转到 N10,程序结束
[#_M_SBK] =1                        // 定义宏程序为连续执行
[#_M_FIN] =0                        // 定义程序段转换需要等待 M 代码完成信
                                       号 FIN
[#_M_FHD] =0                        // 进给保持信号有效
[#_M_OV] =0                         // 进给倍率调节信号有效
N2 G28 Z0 M19;                      // 确保换刀前 Z 轴已回参考点、主轴定向准停
M80;                                // 刀库前移
M83;                                // 主轴刀具松开、吹气
N3 G91 G01 Z120.0 F5000;            // Z 轴上移至卸刀点 Z1 卸刀
G04 X0.5;                           // Z 轴到达上位延时 0.5s
M84;                                // 刀库回转选刀
N4 G91 G01 Z-120.0 F5000;           // Z 轴下移至参考点装刀
G04 X0.5;                           // Z 轴到达下位延时 0.5s
M82;                                // 主轴刀具夹紧、吹气关闭
M81;                                // 刀库后移
```

N10 M99;　　　　　　　　　　　　// 宏程序结束返回

以上程序中的［#_ UI［0］］、［#_ M_ SBK］、［#_ M_ FIN］、［#_ M_ FHD］、［#_ M_ OV］是以“变量名”形式定义的宏程序系统变量，变量的含义如下。

［#_ UI［0］］：宏程序输入信号 UI000。UI000 是来自 PMC 程序的 CNC-PMC 接口信号 G054.0（UI000）的状态。在宏程序中，［#_ UI［0］］也可直接以系统变量#1000 的形式表示，即用宏程序指令“IF［#3003 EQ 1］GOTO 10”，替代程序中的指令 N1。

［#_ M_ SBK］、［#_ M_ FIN］：宏程序运行控制的系统变量 1。［#_ M_ SBK］、［#_ M_ FIN］也可通过系统变量#3003 或变量名［#_ CNTL1］，进行一次性赋值，即用宏程序指令#3003 =1 或［#_ CNTL1］ =1，替代程序中的指令［#_ M_ SBK］ =1 和［#_ M_ FIN］ =0。

［#_ M_ FHD］、［#_ M_ OV］：宏程序运行控制的系统变量 2。［#_ M_ FHD］、［#_ M_ OV］也可用系统变量#3004 或变量名［#_ CNTL2］，进行一次性赋值，即用宏程序指令#3004 = 0 或［#_ CNTL2］ = 0，替代程序中的指令［#_ M_ FHD］ = 0 和［#_ M_ OV］ =0。

有关 FS-0iD 系统变量的功能、含义等详细内容，可参见本书作者编写的《FANUC-0iD 编程与操作》（机械工业出版社，2013 年 5 月）一书。

6.2.3 PMC 程序设计典例

主轴移动式换刀的加工中心自动换刀 PMC 控制程序，包括 T 代码处理和换刀宏程序处理两部分。其中，T 代码处理程序同样需要有刀位计数、刀号出错检查、T 代码执行完成应答等部分，其程序设计方法和刀库移动式换刀完全相同，用于 18 刀位斗笠式刀库控制的 T 代码处理程序可参见 6.1.2 节。

用于换刀宏程序处理的 PMC 程序需要根据换刀宏程序的要求编程，对于上述自动换刀的宏程序，其 PMC 程序如图 6-13 所示，程序说明如下。

1. UI000 输出

PMC 程序的第 1 ~3 段用于自动换刀宏程序中的宏程序输入信号 UI000（G054.0）的输出。当 CNC 的编程刀号出错，或 CNC 编程刀号和刀库实际刀号一致时，UI000 将输出“1”；此时，只要 CNC 加工程序中的 M06 指令调用换刀宏程序 O9001，便可通过 O9001 中的跳转指令 N1，直接结束宏程序执行。

CNC 编程刀号出错信号 R500.0、R500.1，可通过 6.1.2 节同样的 T 代码处理程序生成；刀号一致信号 R501.0，利用程序中的二进制比较指令 COMPB 生成。比较指令中的 R510 是 T 代码处理程序所保存的 CNC 编程刀号，计数存储器 C002 是由刀位计数程序生成的现行刀号计数值。

2. M80 ~ M84 译码与处理

宏程序 O9001 中的辅助功能 M80 ~ M84 的译码，由程序中的二进制译码指令 DECB（SUB25）实现。DECB 可将来自 CNC 的 32 位二进制 M 代码 F010 ~ F013 中的 M80 ~ M87，依次转换为独立的二进制位信号 R530.0 ~ R530.7。此后的 PMC 程序，均为 M80 ~ M84 代码的处理程序。



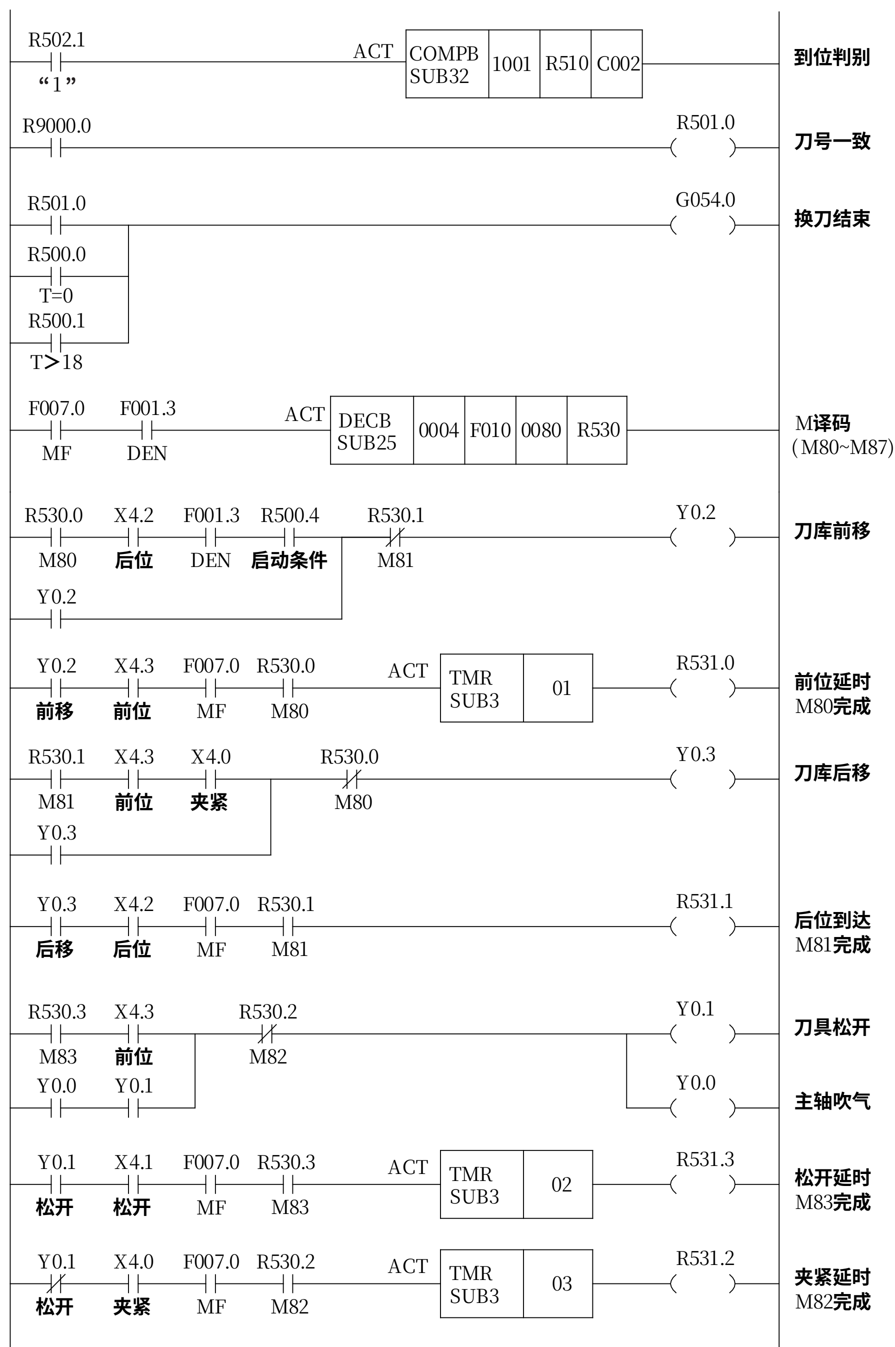


图 6-13　宏程序处理 PMC 程序

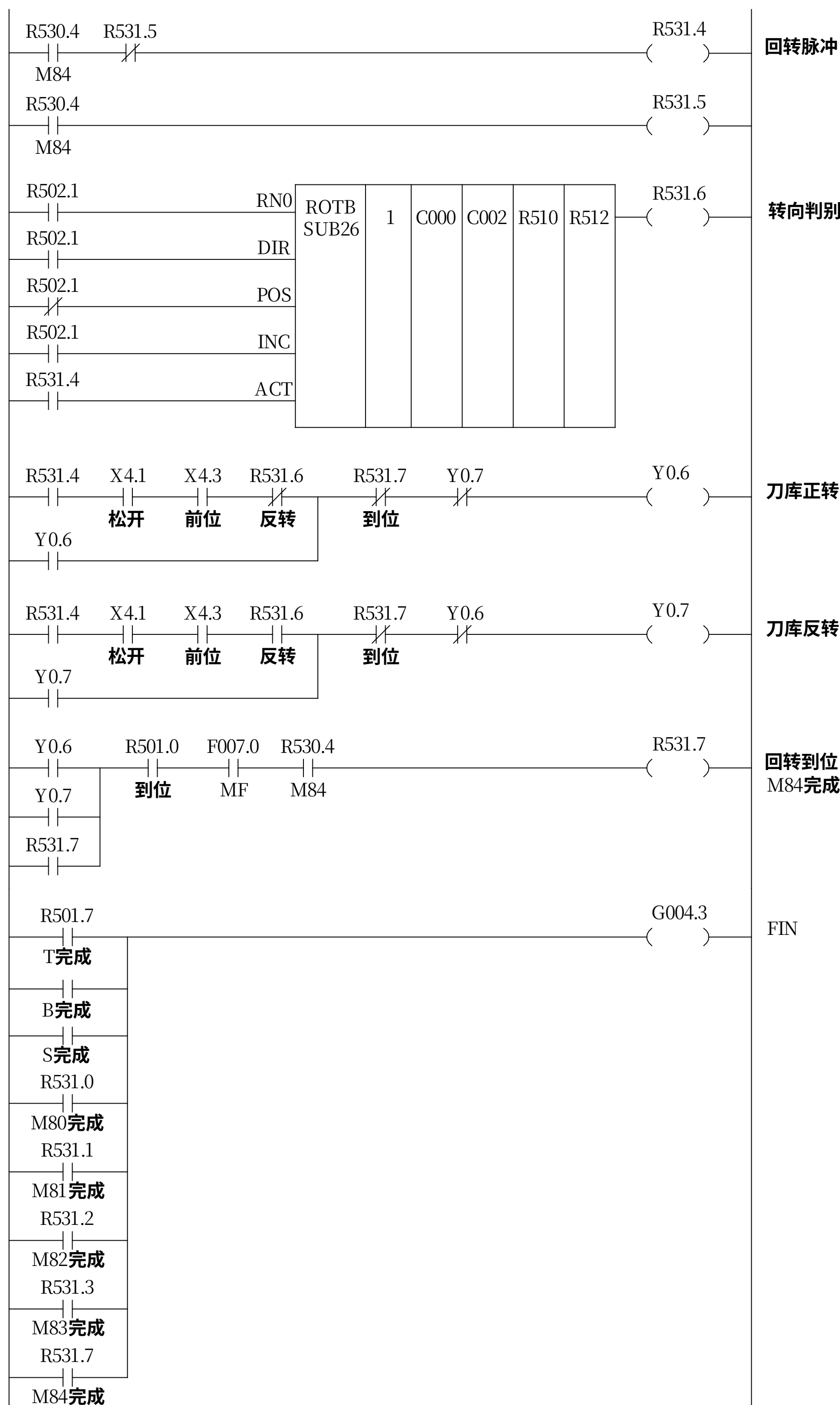


图 6-13　宏程序处理 PMC 程序（续）



由于采用用户宏程序控制的自动换刀，可将换刀动作分解为独立的 M 指令，因此，其 PMC 程序的设计较为简单，它只需要通过 M80 ~ M84 的译码信号，控制所需的 PMC 输出，并产生相应的 M 代码执行完成信号便可实现。此外，由于 M80 ~ M84 严格按照用户宏程序中的编程顺序依次输出，故 PMC 程序设计时的互锁也大大简化。

例如，当执行刀库前移 M80 指令时，如刀库位于后位（X4.2 = 1）、*Z* 轴定位完成（F001.3 = 1）、换刀启动条件满足（R500.4 = 1），则可接通刀库前移电磁阀 Y3（Y0.2 = 1）。刀库前移到位经延时后，可产生 M80 完成信号 R531.0，此时，可通过程序最后的 M 代码完成应答程序，产生 FIN（G004.3）信号，结束 M80 指令。

CNC 接收到 FIN 信号后，将自动撤销 M 代码输出，使 M80 译码信号 R530.0 = 0，M80 完成信号 R531.0、FIN 信号重新恢复至“0”；M80 指令执行完成后，换刀宏程序可继续执行后述的指令。刀库前移电磁阀 Y3 输出（Y0.2 = 1），需要通过宏程序 O9001 中的刀库后移指令 M81 予以撤销，因此，它可在刀具松开 M83、*Z* 轴上升（O9001 的程序段 N3）、刀库回转选刀（M84）、*Z* 轴下降（O9001 的程序段 N4）直到刀具夹紧 M82 的全部动作过程中，均保持接通状态。

主轴刀具松开和吹气指令 M83、刀库回转选刀指令 M84、主轴刀具夹紧和吹气关闭指令 M82、刀库后移指令 M81 的 PMC 控制程序与 M80 类似，在此不再说明。机床进行卸刀、装刀时的主轴上升、下降动作，则可通过宏程序 O9001 中的 *Z* 轴升降移动指令实现，其动作的延时也直接利用 CNC 的程序暂停 G04 进行控制；因此，其换刀动作清晰、调试方便，PMC 程序设计较为简单。

3. M 代码应答

由于 FS-0iD 等 CNC 的普通辅助功能应答，使用的是共同的完成应答信号 FIN（G004.3），因此，自动换刀 PMC 的辅助功能执行完成应答，需要包括 T 代码处理程序中的 T 代码执行完成应答信号 R501.7，以及换刀宏程序中所有的 M 代码完成信号 R531.0、R531.1 等。

调用宏程序 O9001 的 M06 代码，可由 CNC 操作系统自动处理，M06 既不输出到 PMC，也无须 PMC 程序进行控制和应答。

4. 程序调试

采用宏程序控制自动换刀时，其 PMC 程序实质上只是多个 M 代码处理程序的合成，因此，在进行自动换刀动作调试时，可选择 CNC 的操作方式 MDI，通过单步执行 M80/M81、M82/M83、G01 Z120.0 F5000 等 CNC 编程指令，随时控制刀库的前/后移动、刀具松/夹、刀具装/卸等动作；换刀时的 Z 轴上下行程和移动速度、上位/下位延时时间均可用 CNC 编程指令方便地调节，程序的调试十分容易。

6.3　凸轮机械手换刀控制

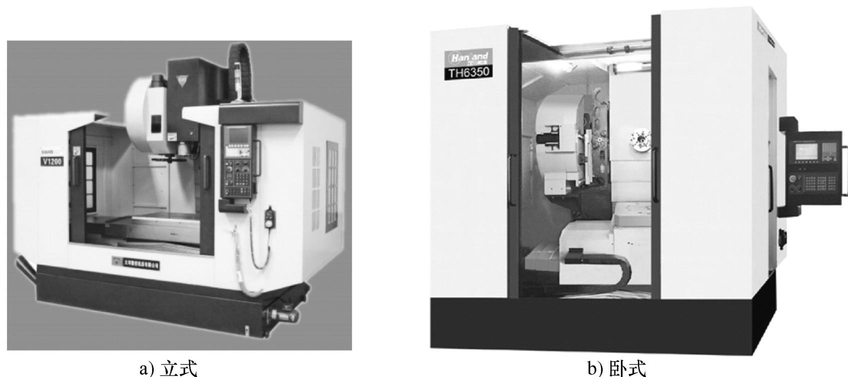
6.3.1　程序设计要求

1. 基本说明

由于结构设计、生产制造成本等多方面原因，除少数高速、高精度加工中心外，采用刀

库或主轴移动式无机械手换刀的加工中心一般都不能实现刀具的预选动作。无机械手换刀的机床进行自动换刀时，必须先将主轴上的刀具放回刀库的原刀位，然后才能进行刀库回转选刀、装刀等动作，其换刀时间通常较长（大于5s）；同时，它对刀库的安装方式、安装位置都有一定的要求，刀具容量和刀具规格受到局限。因此，在要求换刀时间短或刀库容量大的加工中心上，需要采用机械手换刀方式。

采用机械手换刀的中小型加工中心如图 6-14 所示。



a) 立式　　b) 卧式

图 6-14　机械手换刀加工中心

立式加工中心的机械手换刀刀库的常见形式有图 6-15 所示的 2 种，盘式刀库的容量通常在 24 把以内，链式刀库的容量可达 60 把左右。图中的刀库如在结构上旋转 90°后安装，便是卧式加工中心的刀库，因此，对于结构相似的刀库，立式和卧式加工中心的换刀控制实际并无太大区别。


a) 盘式　　b) 链式

图 6-15　立式加工中心刀库

在采用机械手换刀的加工中心上，刀库一般布置于机床的侧面，刀库上的刀具轴线和主轴轴线垂直，故刀库的容量可以较大、允许安装的刀具长度也较长。此外，这种换刀方式还可在换刀前，先将需要更换的下一刀具提前回转到刀库的换刀位上，实现刀具的预选；自动换刀时只需要执行换刀位刀套翻转、机械手回转和伸缩等运动，就可一次性完成主轴和刀库侧的刀具交换，其换刀速度非常快。因此，它是目前高速加工中心常用的自动换刀方式。

机械手换刀装置的机械手运动控制，有机械联动凸轮驱动和液压（或气动）系统控制两种。采用机械联动凸轮驱动的换刀装置结构紧凑、换刀快捷、控制容易，但它对机械部件的安装位置、调整有较高的要求，故多用于小型工作台移动的加工中心。采用液压（或气



动）系统控制的换刀装置，需要配套相应的液压或气动系统，其结构部件较多、生产制造成本较高，但其使用方便、动作可靠、调试容易，且可满足不同结构形式的加工中心换刀要求，故可用于中、大型加工中心。

链式刀库和盘式刀库只是形状、容量和机械结构上的区别，两者的 PMC 程序设计并无太大的区别；此外，采用同类换刀装置的立式和卧式加工中心的换刀动作也基本相同。

常用规格的机械手换刀装置，目前已有专业生产厂家生产，机床生产厂家通常直接选配标准功能部件，故绝大多数加工中心的换刀原理相同，PMC 程序设计要求一致。因此，本节的以下内容，将以使用盘式刀库、机械联动凸轮驱动的立式加工中心为例，来介绍机械手换刀机床的 PMC 程序设计要求和方法；有关液压（或气动）系统驱动的机械手换刀 PMC 程序设计方法，将在 6.4 节进行介绍。

2. 换刀动作

立式加工中心常用的机械联动凸轮驱动的机械手换刀装置结构如图 6-16 所示，换刀装置主要由刀库回转系统和机械手驱动系统两大部分组成。

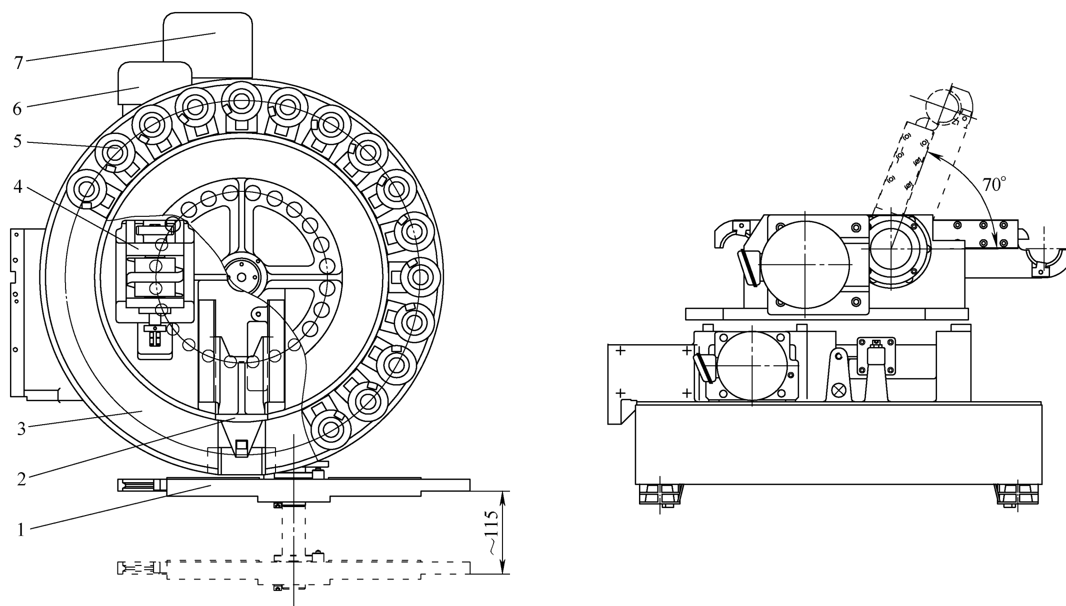


图 6-16　凸轮联动换刀装置的结构

1—刀臂　2—刀套翻转机构　3—刀库　4—回转机构　5—刀套　6—回转电动机　7—机械手驱动电动机

刀库回转系统由回转电动机、减速器、蜗杆凸轮回转机构、刀库、刀套、换刀位刀套翻转机构等部件组成，它主要用于安装刀具、实现刀具预选和换刀位刀套翻转。机械手驱动系统由机械手驱动电动机、弧面/平面组合凸轮、弧面凸轮驱动的机械手回转机构、平面凸轮驱动的刀臂伸缩机构等部件组成，它用来实现机械手的回转、刀臂伸缩等动作，进行刀库换刀位和主轴上的刀具交换。有关换刀装置的内部结构与原理，可参见本书作者编写的《现代数控机床设计典例》（机械工业出版社，2014 年 4 月）一书。

机械联动凸轮换刀装置的刀库回转系统控制要求与斗笠式刀库类似，机械手驱动系统的换刀动作如图 6-17 所示，换刀时机械手的动作过程如下。



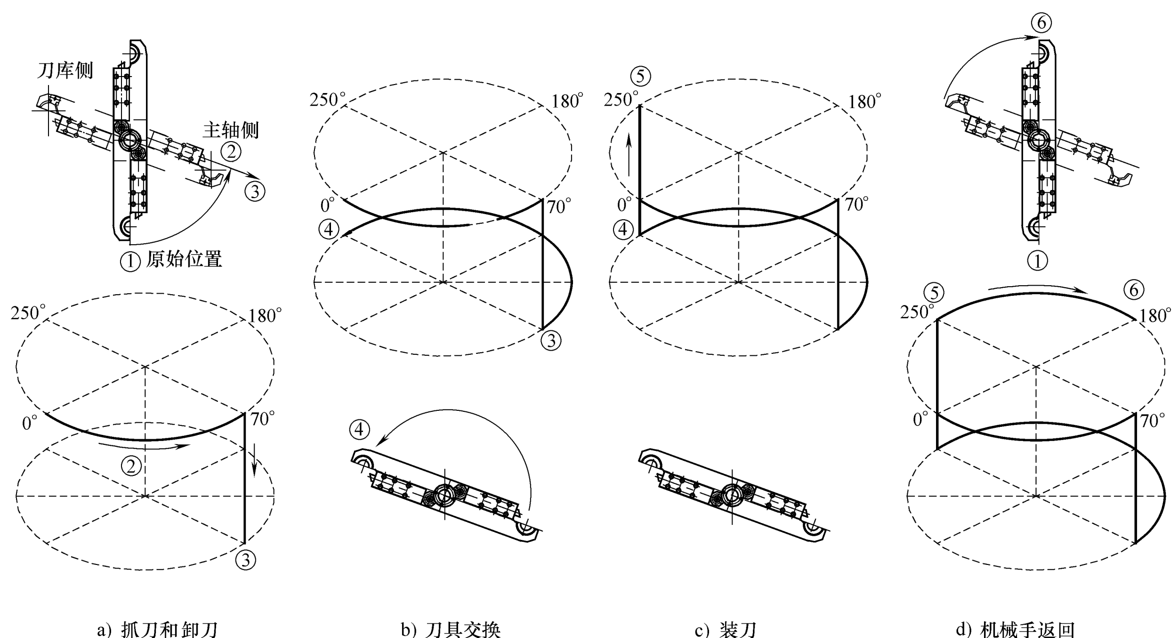


图 6-17　机械手换刀动作

1）刀具预选。在刀具交换前，机械手应位于上位、0°的初始位置，机床可以在加工的同时，通过 T 代码指令，将刀库上安装有下一把刀具的刀座（刀套）事先回转到刀库的刀具交换位上，做好换刀准备，完成刀具预选动作。执行自动换刀指令（M06）前，主轴应先进行定向准停，*Z* 轴应快速运动到换刀位置。

2）机械手回转爪刀。换刀开始后，首先通过气动（或液压）系统，将刀库换刀位的刀套连同刀具翻转 90°，使刀具轴线和主轴轴线平行。然后，起动机械手驱动电动机，机械手可在弧面凸轮的驱动下进行 70°左右的回转（不同机床有所区别），使两侧的手爪同时夹持刀库换刀位和主轴上的刀具刀柄，完成抓刀动作。

3）卸刀。机械手完成抓刀后，机械手驱动电动机停止；然后，利用气动（或液压）系统松开主轴上的刀具，进行主轴吹气。刀具松开后，再次起动机械手驱动电动机，机械手将转换到平面凸轮驱动模式，刀臂在平面凸轮的驱动下伸出（SK40 为 115mm 左右），刀库和主轴上的刀具被同时取出。

4）刀具交换。卸刀完成后，机械手重新转换到弧面凸轮的驱动模式，进行 180°旋转，将刀库和主轴侧的刀具互换。

5）装刀。刀具交换完成后，机械手又将转换到平面凸轮驱动模式，刀臂自动缩回，将刀具同时装入刀库和主轴。接着，停止机械手驱动电动机，并利用气动（或液压）系统夹紧主轴上的刀具，关闭主轴吹气。

6）机械手返回。主轴上的刀具夹紧完成后，第 3 次起动机械手驱动电动机，机械手在弧面凸轮的驱动下返回到 180°位置，机械手换刀动作结束。此时，可利用气动（或液压）系统，将刀库刀具交换位的刀套连同刀具向上翻转 90°，回到水平位置。

由于机械手的结构完全对称，因此，其 180°位置和 0°位置并无区别，故可在 180°位置



上继续进行下一刀具的交换。在部分机床上，换刀位刀套的 90°翻转动作有时还可在预选完成后直接进行，但这种控制方式，在加工程序中连续指令 T 代码时，会产生刀套翻转的多余动作。

以上机械手换刀装置的刀臂回转（弧面凸轮驱动）、刀臂伸缩（平面凸轮驱动）及驱动电动机起动/停止、主轴上刀具松开/夹紧的动作配合曲线如图 6-18 所示。

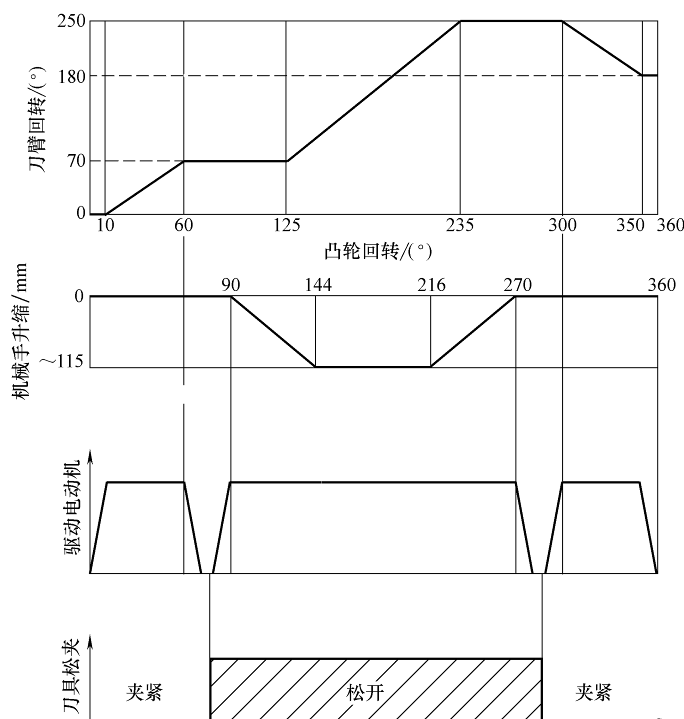


图 6-18　机械手换刀动作配合曲线

换刀开始前，弧面/平面凸轮停止在 0°±10°的范围，机械手处于上位、0°的初始位置。换刀开始后，起动机械手驱动电动机使凸轮转过 60°左右，机械手将在弧面凸轮的驱动下，完成 70°转位动作；回转到位后，应立即停止驱动电动机，并保证凸轮停止在 60°~90°范围内。此时，可通过气动（或液压）系统松开主轴上的刀具。

刀具松开完成后，需要再次起动机械手驱动电动机，机械手将在平面凸轮、弧面凸轮的联合驱动下，连续执行机械手伸出、180°回转和机械手缩回装刀动作。当凸轮回转到 270°后，应再次停止机械手驱动电动机，并通过气动（或液压）系统夹紧主轴上的刀具。

刀具夹紧完成后，第 3 次起动机械手驱动电动机，使凸轮转到 360°±10°位置，弧面凸轮将驱动机械手完成 70°返回动作、回到 180°位置，结束换刀动作。

3. PMC 程序设计要求

机械手换刀的加工中心具有刀具预选功能，为了提高换刀速度，在加工程序中，一般需要将用来指定刀号的 T 代码指令与执行换刀动作的 M06 指令进行分开编程。T 代码指令可以在机床加工的同时进行指定，以便执行刀具预选动作；换刀指令 M06 在加工完成、主轴

定向准停、Z 轴移动到换刀位置（通常为参考点）后才能指令，它可以直接启动机械手的换刀动作循环。

因此，机械手换刀加工中心的 T 代码用于刀具预选控制，执行 T 代码，可直接启动刀库回转选刀动作，将安装有下一把需要更换刀具的刀库刀套，回转到刀库换刀位上。而 M06 代码则用于刀具交换控制，执行 M06 指令需要进行刀库换刀位的刀套 90°翻转/复位、机械手驱动电动机起/停、主轴刀具松/夹等动作控制。其中，刀套的 90°翻转与复位、主轴刀具松开与夹紧为气动或液压系统动作，而机械手的回转、伸缩等运动则全部需要通过控制机械手驱动电动机的起/停实现。

在 FS-0iMD 等数控系统上，加工程序中的 T 代码、M 代码等与自动换刀有关的 PMC-CNC 接口信号 I/O 地址，以及假设的机床侧 I/O 信号地址如表 6-5 所示。表中的刀位计数、刀具松开/夹紧、刀套 90°翻转/复位及机械手位置检测等信号的输入地址，以及刀具夹紧/松开、主轴吹气、刀套 90°翻转/复位电磁阀、机械手驱动电动机起动接触器、刀库正/反转接触器的输出地址，可根据实际机床的 I/O 配置改变。

表 6-5　机械手换刀控制信号地址一览表

代号	名称	类别	PMC 地址	备注
DEN	分配结束	CNC-PMC 接口信号输入	F001.3	“1”坐标轴运动结束
MF	M 代码选通	CNC-PMC 接口信号输入	F007.0	“1”M 代码输出有效
TF	T 代码选通	CNC-PMC 接口信号输入	F007.3	“1”T 代码输出有效
M00 ~ M31	M 代码	CNC-PMC 接口信号输入	F010 ~ F013	32 位二进制 M 代码
T00 ~ T31	T 代码	CNC-PMC 接口信号输入	F026 ~ F029	32 位二进制 T 代码
S14	刀具夹紧	机床信号输入	X3.4	参考地址,1:夹紧;0:松开
S15	刀具松开	机床信号输入	X3.5	参考地址,1:松开;0:夹紧
S21	刀位计数	机床信号输入	X4.0	参考地址
S22	刀臂上位	机床信号输入	X4.1	参考地址,信号见表 6-6
S23	刀套垂直	机床信号输入	X4.2	参考地址,信号见表 6-6
S24	刀套水平	机床信号输入	X4.3	参考地址,信号见表 6-6
S25	刀臂下位	机床信号输入	X4.4	参考地址,信号见表 6-6
S26	机械手 0°	机床信号输入	X4.5	参考地址,信号见表 6-6
S27	机械手 70°	机床信号输入	X4.7	参考地址,信号见表 6-6
FIN	辅助功能结束	CNC-PMC 接口信号输出	G004.3	M/S/T/B 执行完成
Y1	刀具松开	机床输出	Y2.0	参考地址,1:松开;0:夹紧
Y2	主轴吹气	机床输出	Y2.1	参考地址
Y3	刀套垂直	机床输出	Y2.2	参考地址
Y4	刀套水平	机床输出	Y2.3	参考地址
M3	机械手电动机	机床输出	Y4.3	参考地址,1:起动;0:停止
M4	刀库电动机正转	机床输出	Y3.7	参考地址
	刀库电动机反转	机床输出	Y5.7	参考地址

凸轮机械手换刀的电磁元件动作一般如表 6-6 所示。



表 6-6　凸轮机械手换刀电磁元件动作表

序号	机械手动作	电磁元件				检测开关							
		M3	Y1/Y2	Y3	Y4	S14	S15	S22	S23	S24	S25	S26	S27
1	初始位置	—	—	—	+	+	—	+	—	+	—	+	—
2	刀套翻转 90°	—	—	+	—	+	—	+	+	—	—	+	—
3	机械手 70°回转	+	—	+	—	+	—	+	+	—	—	—	+
4	刀具松开/吹气	—	+	+	—	—	+	+	+	—	—	—	+
5	刀臂伸出	+	+	+	—	—	+	—	+	—	+	—	—
6	机械手 180°回转	+	+	+	—	—	+	—	+	—	+	—	—
7	刀臂缩回	+	+	+	—	—	+	+	+	—	—	—	+
8	刀具夹紧/关气	—	—	+	—	+	—	+	+	—	—	—	+
9	机械手返回	+	—	+	—	+	—	+	+	—	—	+	—
10	刀套返回 0°	—	—	—	+	+	—	+	—	+	—	+	—
11	换刀完成	—	—	—	+	+	—	+	—	+	—	+	—

注：+：电磁阀接通或开关发信；—：电磁阀断开或开关不发信。

采用凸轮联动机械手换刀的加工中心，需要建立 PMC 的随机刀具表；其自动换刀 PMC 控制程序，包括刀具预选（T 代码处理）控制和机械手换刀控制两大部分，随机刀具表的建立方法和典型的换刀控制程序如下。

6. 3. 2　随机刀具表的建立

1. 刀具变化规律

采用机械手换刀时，刀库换刀位的刀具将和主轴上的刀具互换，因此，刀库刀套上所安装的刀具号将随着刀具交换的进行而不断改变。例如，当现行主轴上的刀具为 T01，刀具 T02 安装在刀套 D02 上、刀具 T10 安装在刀套 D10 上时，执行如下加工程序时，其换刀动作及刀套上的刀具变化如表 6-7 所示。

```
O 0010;
N01 T01;
N10 M06;
N12 T02;                        //指令下一把刀具 T02
    G00 G43 Z-100. H01;
    ……                          //刀具 T01 加工程序
    G28 Z0 M19;
N20 M06;
N22 T10;                        //指令下一把刀具 T10
    G00 G43 Z-200. H02;
    ……                          //刀具 T02 加工程序
```

```
    G28 Z0 M19;
N30 M06;
    G00 G43 Z-250. H10;
    ……                                  //刀具 T10 加工程序
    M30;
```

表 6-7　第 1 次执行 O0010 的动作及刀套上的刀具变化表

程序段	换刀动作	主轴上的刀具	刀库换刀位刀套	刀套上的刀具	
				D02	D10
执行前	—	T01	任意	T02	T10
N1	无	T01	不变	T02	T10
N10	无	T01	不变	T02	T10
N12	刀库回转、预选刀具 T02	T01	D02	T02	T10
N20	机械手换刀	T02	D02	T01	T10
N22	刀库回转、预选刀具 T10	T02	D10	T01	T10
N30	机械手换刀	T10	D10	T01	T02

以上程序执行完成后，如果再次执行同样的加工程序，其换刀动作及刀套上的刀具变化将成为表 6-8 所示，如此类推。

表 6-8　第 2 次执行 O0010 的动作及刀套上的刀具变化表

程序段	换刀动作	主轴上的刀具	刀库换刀位刀套	刀套上的刀具	
				D02	D10
执行前	—	T10	D10	T01	T02
N1	刀库回转、预选刀具 T01	T10	D02	T01	T02
N10	机械手换刀	T01	D02	T10	T02
N12	刀库回转、预选刀具 T02	T01	D10	T10	T02
N20	机械手换刀	T02	D10	T10	T01
N22	刀库回转、预选刀具 T10	T02	D02	T10	T01
N30	机械手换刀	T10	D02	T02	T01

2. 随机刀具表的建立

由上可见，在机械手换刀的加工中心上，为了在刀库上找到所需要的刀具，需要建立一个数据表，以表明刀具在刀套上的安装位置，这一数据表称为随机刀具表。这样，换刀时便可通过刀库的旋转实现刀具预选，并保证所换的刀具正确无误。

为了便于数据输入、检查和修改，随机刀具表通常由 PMC 的数据寄存器 D 构成。为了便于 PMC 程序的检查和阅读，随机刀具表的数据寄存器起始值通常应选择 D000。以 16 把刀的刀库为例，随机刀具表的典型格式如表 6-9 所示，为了便于 PMC 程序编制，随机刀具表中的数据存储格式一般应选择二进制。



表 6-9　16 把刀加工中心的随机刀具表

数据寄存器地址	数据格式	数据长度	数据寄存器的内容(数值)
D000	二进制	1 字节	主轴上的现行刀具号
D001	二进制	1 字节	刀库 1 号刀套上的现行刀具号
D002	二进制	1 字节	刀库 2 号刀套上的现行刀具号
……	……	1 字节	……
D016	二进制	1 字节	刀库 16 号刀套上的现行刀具号

表中的数据寄存器 D000 代表主轴；D001 ~ D016 与刀套号一一对应，数据寄存器所存储的数值，就是安装在对应刀套上的刀具号。因此，执行换刀指令时，只需要通过 PMC 的二进制数据检索指令 DSCHB（SUB34），将数据表中存储有 T 代码指定刀具号的数据存储器序号，输出到指令 DSCHB（SUB34）指定的结果存储器中，这一结果存储器中的数值（数据存储器序号）实际上就是安装有该刀具的刀套号。这样，在进行刀库回转选刀控制时，只需要将该刀套回转到刀库的换刀位上，便可以完成刀具预选动作。

需要注意的是，加工程序中的 T 代码实际上用来指定加工所需要的刀具号，但自动换刀 PMC 程序所能够控制的只是刀库上用来安装刀具的刀座（刀套）位置，两者实际上是不同的概念。但是，在数控车床、无机械手直接换刀的加工中心等机床上，为了便于编程和控制，通常将加工程序中 T 代码和刀架、刀座号定义为相同，这样，加工程序中的刀具号（T 代码）也就是刀架或刀座号，故在 PMC 程序中需要进行 T 代码的范围判别。然而，在机械手换刀的加工中心上，T 代码指定的刀具可安装在刀库的任何一个刀套上，因此，加工程序中的 T 代码（刀具号）和刀库刀套号是不同的数值，T 代码的编程范围也将不受刀库实际刀套数量的限制。

随机刀具表的数据长度决定于加工程序中的 T 代码编程范围。在使用 2 位 T 代码（十进制）编程的机床上，其刀号范围为 T1 ~ T99，故数据长度只需要定义为 1 字节；在复杂机床或柔性生产线上，由于刀具众多，其数据长度也可根据实际需要定义为 2 字节或 4 字节，这时，加工程序可使用 4 位或 8 位十进制 T 代码进行编程，其加工程序中的刀号范围可扩大至 T1 ~ T9999 或 T1 ~ T99999999。

机床首次安装刀具或进行刀具重新安装时，需要进行随机刀具表的输入与编辑。随机刀具表的输入与编辑可直接通过 CNC 的 MDI/LCD 面板，在 PMC 的参数设定【PMC PRM】页面进行。建立数据表时首先需要设定 PMC 的数据表控制参数【G. CONT】，进行数据组的数据格式、长度、数量的定义；在此基础上，再利用数据存储器输入页面【G. DATA】，输入各数据存储器的内容。

有关 PMC 数据存储器设定的更多内容，可参见本书作者编写的《FANUC-0iD 编程与操作》（机械工业出版社，2013 年 5 月）一书。

6.3.3　刀具预选程序典例

1. 编程要点

刀具预选程序用于刀库刀具的预选控制，它一般由 T 代码处理和刀库回转选刀两大部分组成，PMC 程序设计时，通常应注意如下基本问题。

1）如前所述，在采用机械手换刀的加工中心上，CNC 加工程序中 T 代码指定的刀具号和刀库的刀套号是不同的概念，因此，加工程序上的 T 代码的编程范围不受刀库刀套数量的限制，PMC 程序中无须进行 T 代码的范围判断。

2）为了提高效率，刀库的刀具预选动作一般应在加工的同时进行，因此，T 代码的执行完成应答（FIN 信号），原则上应在刀库回转选刀前就完成。这样，便可立即结束 T 代码处理，使 CNC 迅速进入随后的加工程序处理；而刀库则可在 PMC 程序的控制下，在机床加工的同时，进行回转选刀动作。

3）在具有刀具预选功能的加工中心上，加工程序中需要先指令 T 代码进行刀具预选，然后利用 M06 指令启动自动换刀，因此，在 PMC 程序设计时，一般应考虑到加工程序中可能出现的、M06 指令前存在多个 T 代码（或 T 代码重复编程）的编程疏忽，并保证自动换刀的动作正常进行。通常而言，作为正确的处理方法，如果 CNC 加工程序中出现 M06 指令前存在多个 T 代码的情况，应以最后指令的 T 代码作为最终生效的 T 代码，执行该刀具的自动换刀动作。

4）在部分机床上，也有在刀库刀具预选完成后，便直接进行换刀位刀套的 90°翻转动作的程序设计情况，这样的 PMC 程序可少量缩短自动换刀的时间；但如加工程序中出现上述 M06 指令前存在多个 T 代码的情况，就会出现刀套多次翻转的多余动作，因此，需要设计者根据实际情况酌情处理。

2. T 代码处理

机械手换刀加工中心的 T 代码处理程序一般包括主轴刀号比较、刀具检索、刀库换刀位刀号比较、刀具预选启动、T 代码完成应答等部分。典型程序如图 6-19 所示。

为了保证多个 T 代码重复指令时的换刀正确，程序中将 CNC 发送的 TF 信号（F007.3），分割成为了 TF 首循环脉冲 R500.6 和 TF 执行启动信号 R500.5（TFST）两个信号。当 CNC 执行加工程序中的 T 指令、发送 TF 信号时，首先可通过 TF 首循环脉冲 R500.6，清除上一 T 代码指令执行时所保存的主轴刀号比较、换刀位刀号比较、刀具预选启动等状态信号；然后，利用 TF 执行启动信号 R500.5，生成本次 T 代码指令的主轴刀号比较、换刀位刀号比较、刀具预选启动等状态信号。因此，它可以保证多个 T 代码重复指令时，以最后指令的 T 代码为实际有效的 T 代码。

（1）主轴刀号比较

程序 TF 执行启动信号 R500.5 为“1”时，首先通过二进制比较指令 COMPB（SUB32），可进行 T 代码与主轴现行刀具号的比较，当指令的 T 代码（F026）与主轴现行刀具号（随机刀具表中数据存储器 D000 的内容）一致时，机床无须进行刀具预选和换刀动作。此时，R500.0 将为“1”，它可通过后述的 T 代码完成应答程序，直接使 T 完成应答信号 R501.7 为“1”，结束刀具预选动作。R500.0 的状态需要在下一次执行 T 指令时，通过 TF 信号的首循环脉冲 R500.6 清除，故它可在整个换刀过程中（包括 M06 执行过程），始终保持状态“1”，以便禁止后述 M06 指令的自动换刀动作。

（2）刀具检索

在 FS-0iD 等 CNC 上，刀具检索可通过利用 PMC 的二进制数据检索指令 DSCHB（SUB34）实现。由前述的随机刀具表（见表 6-9）可知，因数据表的 D000 用于主轴现行刀具号存储、D001 ~ Dn 用于刀套 1 ~ n 上的刀具号存储，因此，当 DSCHB 指令的数据表起始



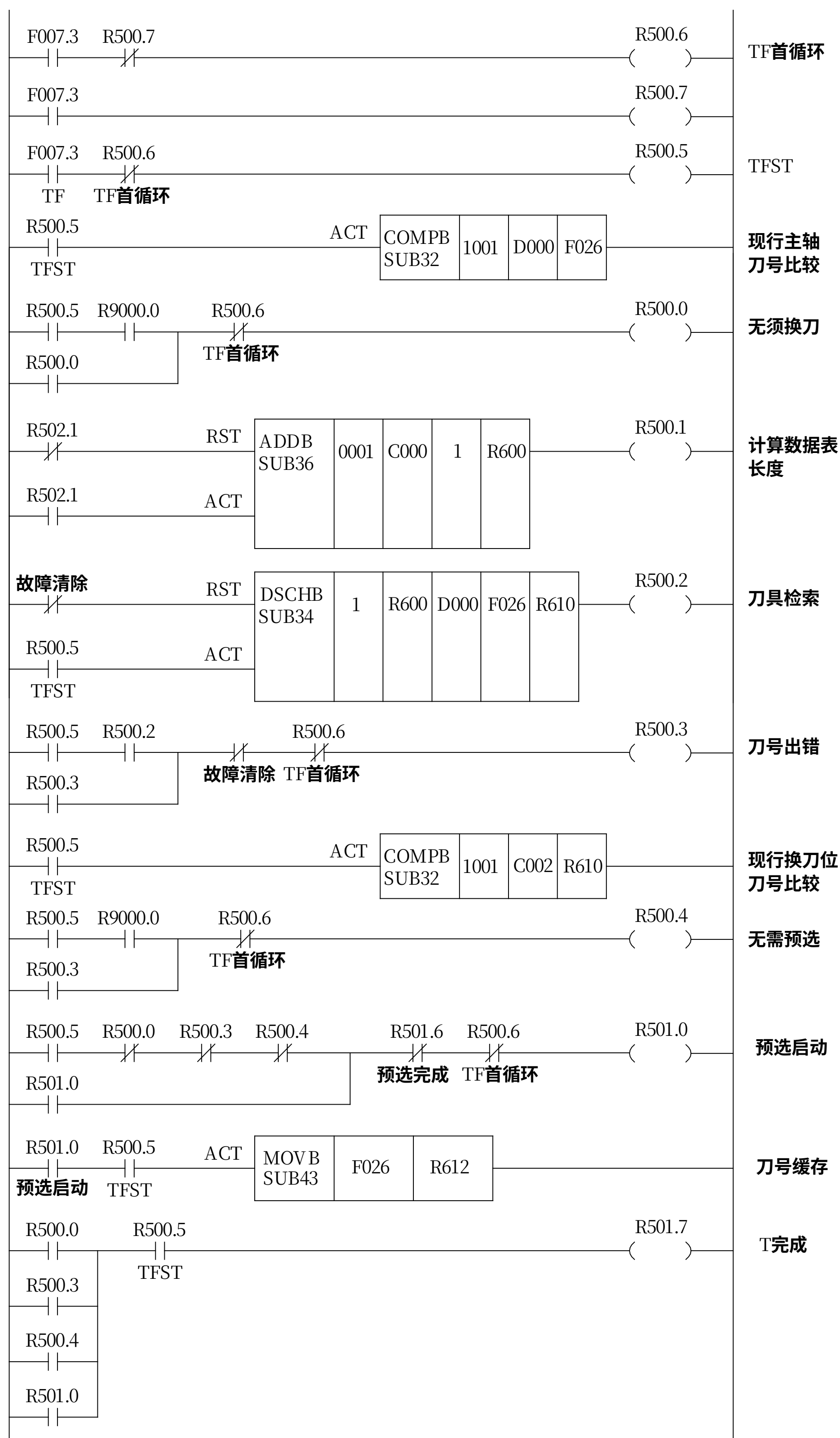


图 6-19　T 代码处理程序



地址定义为 D000 时，数据表的长度应为刀库刀套数加 1。由于刀库的刀套数实际上就是刀位计数器 C1 的预置值，即计数存储器 C000 的数值，故可通过二进制加法指令 ADDB（SUB36），进行 C000 和常数 1 的加法运算，从而在结果寄存器 R600 上得到数据表长度。

在指令 DSCHB 中，常数“1”定义了检索数据的长度（1 字节）；R600 为数据表长度；D000 为数据表起始地址；F026 为需要检索的数据（CNC 的 T 代码）；R610 为结果寄存器地址。以执行 T30 指令为例，假如刀具 T30 安装于刀套 8 上，指令 DSCHB 的作用如图 6-20 所示。

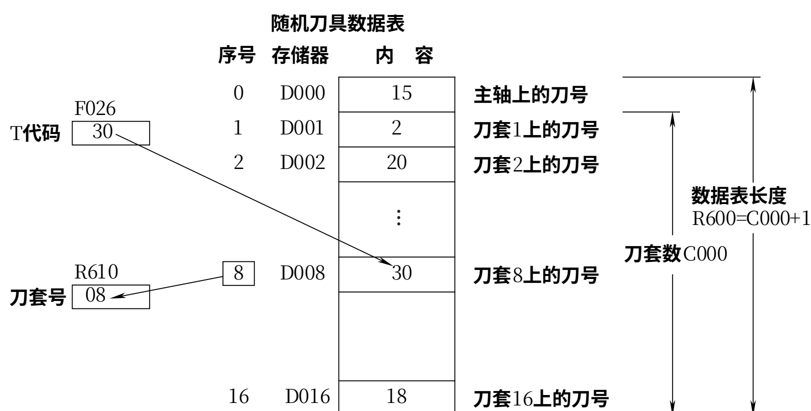


图 6-20 DSCHB 指令的作用

执行 DSCHB 指令，可将存储有刀具号 T30 的数据寄存器序号 08，写入到结果寄存器 R610 中，故 R610 的数值与安装 T30 的刀套号完全一致，预选时只需要将这一刀套回转到刀库的换刀位，便可实现刀具预选功能。

程序中的 R500.3 用于 T 代码出错报警。当 CNC 指令的刀具号在数据表中不存在时，DSCHB 指令的输出 R500.2 将为“1”，此时，可通过 R500.3 产生机床操作出错报警；同时，禁止刀具预选、自动换刀动作。

（3）刀库换刀位刀号比较

当指令刀具的刀套号检索完成后，如果这一刀套已经位于刀库换刀位，刀库无须进行回转选刀动作，便可直接通过 M06 自动换刀动作。刀库换刀位刀号比较同样可通过二进制数据比较指令 COMPB（SUB32）实现，指令中的 C002 为刀位计数器 C1 的现行计数值，即现在换刀位的刀套号；R610 为安装有指定刀具的刀套号，两者一致时内部继电器 R500.4 为“1”，刀库无须进行回转选刀动作。

（4）刀具预选启动

当刀库中存在需要预选的刀具（R500.3 =0），且指令刀具与主轴现行刀具不一致（R500.0 =0）、刀库换刀位刀套非指令刀具刀套（R500.4 =0）时，程序的刀具预选启动信号 R501.0 将为“1”，这一信号将启动后述的刀库回转，进行刀具预选。程序中的字节传送指令 MOVB（SUB43）用于 T 代码缓存，在刀具需要预选时，将指令的 T 代码（F026）保存到缓冲存储器 R612 上。当自动换刀指令 M06 执行完成后，T 代码缓冲存储器 R612、数据表长度存储器 R600、指令刀具所在的数据序号存储器 R610 的内容，需要用于随机刀具表的数据更新。



（5）T 代码完成应答

为了保证刀库回转的刀具预选动作与零件加工同时进行，以上 T 代码处理一旦结束，状态寄存器 R500.0、R500.3、R500.4、R501.0 被刷新后，便应将 T 完成应答信号 R501.7 置为“1”。R501.7 = 1 时，便可将后述的公共辅助功能完成应答信号 FIN 置为“1”，使 CNC 结束 T 指令程序段，进入加工程序的处理；而刀库则可在 PMC 程序的控制下，在机床进行加工的同时，进行下述的回转选刀动作。

3. 刀库回转选刀

刀库回转选刀程序一般由转向判别、正反转控制、刀位计数等部分组成，其典型程序如图 6-21 所示。

刀库的回转选刀通过 T 代码处理程序中的刀具预选启动信号 R501.0 启动；刀库可进行双向回转、捷径选刀。刀库的正反转控制，同样通过 PMC 的二进制回转控制功能指令 ROTB（SUB26）实现；但是，在机械手换刀的加工中心上，ROTB 指令的目标位置应为刀具检索指令 DSCHB 所得到的刀库刀套号 R610，而不能直接使用 CNC 的 T 代码输出 F026。ROTB 指令的作用及功能，在前述的程序典例中已有详细说明，有关内容可参见 6.1.3 节。

机械手换刀加工中心的刀库的刀套位置计数（刀位计数），通常也采用计数开关计数的方式，利用 PMC 的回转计数功能指令 CTR（SUB5）实现。指令 CTR 的作用及功能在前述的程序典例中已有详细说明，有关内容可参见 5.3 节。

6.3.4　机械手换刀程序典例

在机械手换刀的加工中心上，自动换刀一般也通过 M06 指令启动，其动作包括刀库换刀位的刀套翻转、主轴上的刀具夹紧/松开、刀具交换等。采用机械凸轮驱动的机械手转位、升缩、手爪松夹等动作都可由凸轮联动机构实现，刀具交换时只需要控制驱动电动机的起动/停止，因此，换刀控制的 PMC 程序一般分为换刀准备、机械手抓刀、刀具交换、机械手返回和结束处理等部分，典型 PMC 程序及功能说明如下。

1. 换刀准备

换刀准备典型程序如图 6-22 所示，程序包括 M06 译码、M06 完成判别、刀套 90°翻转控制等动作。

在 FS-0iD 等 CNC 上，M 代码的译码可直接采用二进制译码指令 DECB（SUB25）进行，指令的详细说明可参见 6.1.3 节。执行图 6-22 所示的 DECB 指令，可将来自 CNC 的 32 位二进制 M 代码信号 F010 ~ F013 中的 M03 ~ M10，依次转换成 DECB 结果寄存器 R520.0 ~ R520.7 上的二进制位信号，因此，执行换刀指令 M06 时，内部继电器 R520.3 将为“1”，M06 启动信号 R521.0 成为“1”。

当 R521.0 = 1 时，如前述刀具预选程序中的执行结果为“T 指令刀号和主轴上的刀号一致（R500.0 = 1）”或“T 指令刀具在刀库中不存在（R500.3 = 1）”两种情况，程序中的 M06 完成信号 R521.1 将直接置“1”。R521.1 可通过后述的 M06 应答程序，直接产生 M06 执行完成应答信号 FIN（G004.3），以结束 M06 指令执行。

如 R521.0 = 1 时，如刀库换刀位刀套上的刀号和 T 指令刀号一致（R500.4 = 1），或者，刀具预选已经完成（R501.6 = 1），程序可立即产生 ATC 启动信号 R521.2；如刀具预选尚在进行中（R501.6 = 0），则需要等待刀库的刀具预选完成、信号 R501.6 = 1 后，才能产

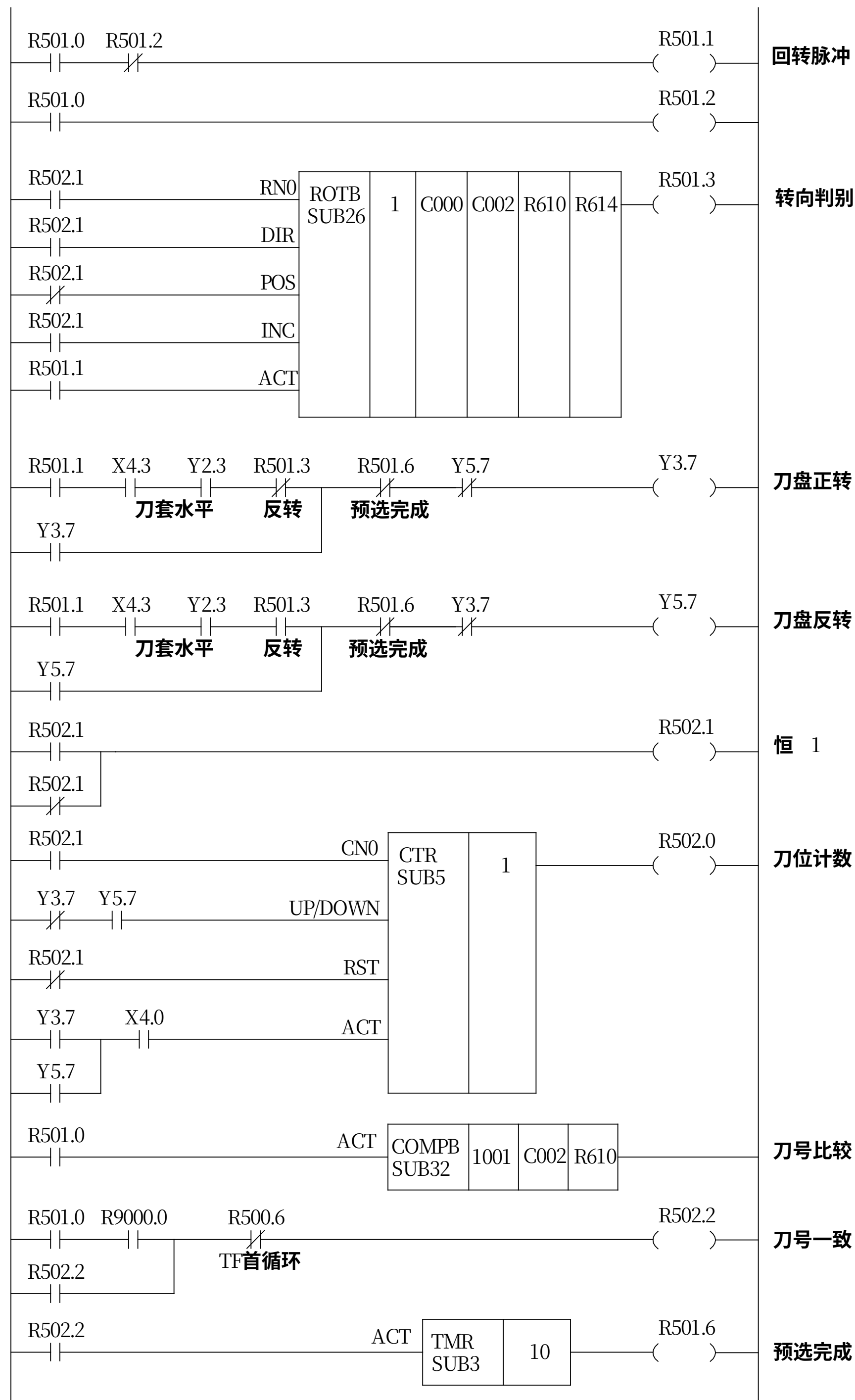


图 6-21　刀库回转选刀程序

生 ATC 启动信号 R521.2。

ATC 启动信号 R521.2 为“1”后，将生成 M06 启动脉冲 R521.3，此时，如机床的 ATC 启动初始条件已经满足（R521.5 = 1），则可通过 ATC 启动脉冲 R521.6，接通刀库换刀位刀



套垂直控制电磁阀输出 Y2. 2，使换刀位的刀套翻转 90°，刀具轴线由水平状态翻转到与主轴轴线平行的垂直状态，为机械手换刀做好准备。

刀套垂直电磁阀输出 Y2. 2 在整个自动换刀过程中需要一直保持接通，当自动换刀结束时，Y2. 2 可通过换刀结束信号 R524. 4 断开。对于自动换刀外的其他所有情况，刀库换刀位的刀套应始终处于水平状态，为了便于编程，刀套水平电磁阀的输出 Y2. 3 可直接取 Y2. 2 的“非”状态进行控制。

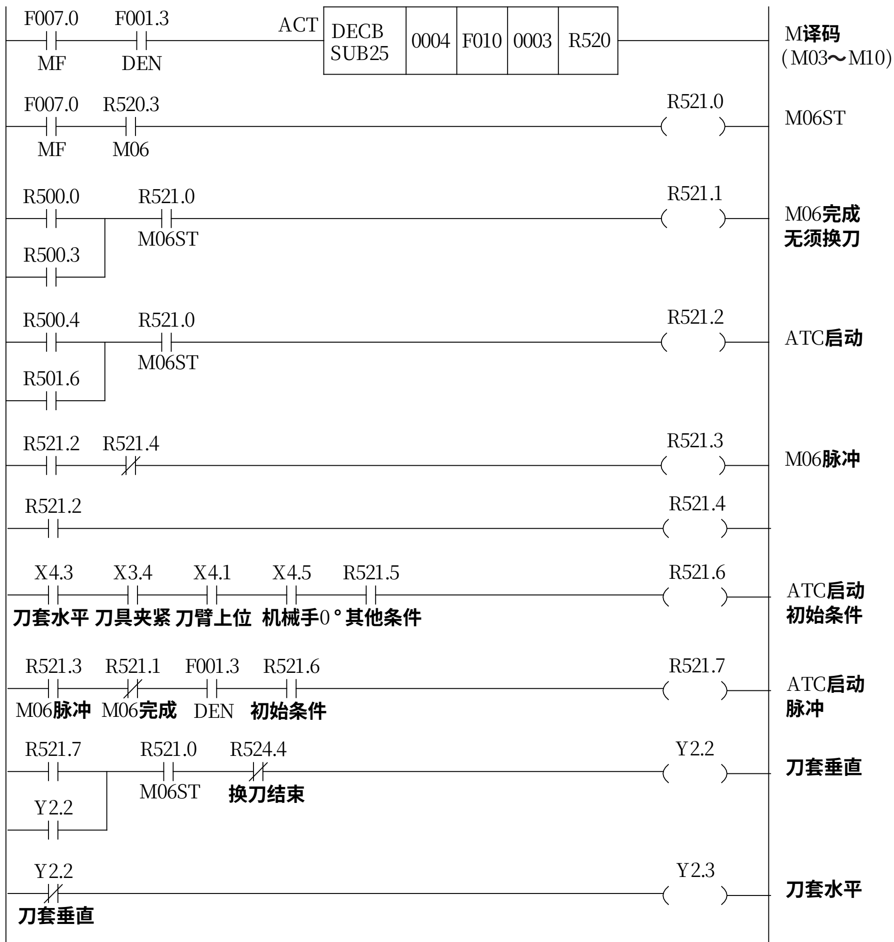


图 6-22　换刀准备 PMC 程序

2. 机械手抓刀

机械手抓刀俗称“扣刀”，执行这一动作时，机械手驱动电动机将起动旋转，机械手可在弧面凸轮的驱动下，进行 70°左右的回转，使两侧的手爪分别夹持刀库换刀位和主轴上的刀具。

机械手抓刀的 PMC 控制程序主要包括机械手 70°回转和主轴上的刀具松开两个动作，其典型 PMC 程序如图 6-23 所示。

当 ATC 循环启动、刀库换刀位的刀套翻转到 90°的垂直位置后，经过 T1 的短时延时（各机床有所不同，通常小于 0. 5s），程序中的机械手 70°回转启动脉冲 R522. 1 将为“1”。

R522.1 = 1 时，机械手 70°回转信号 R522.3 将为“1”并保持，通过后述的程序，R522.3 可使机械手驱动电动机的控制接触器输出 Y4.3 成为“1”，使电动机起动旋转。

当机械手旋转到达 70°后，70°检测开关输入 X4.7 = 1，程序中的 70°到位信号 R522.4 将为“1”。将通过后述的程序，R522.4 可立即断开机械手驱动电动机接触器控制输出 Y4.3，使机械手保持在 70°位置。



图 6-23　机械手抓刀控制程序

Y4.3 断开后，经过 T2 的短时延时（也可无延时），程序中的刀具松开起动脉冲 R522.6 将为“1”，这一脉冲将使主轴上的刀具松开电磁阀 Y2.0 和主轴吹气电磁阀 Y2.1 同时接通，主轴上的刀具被松开。

由于机械手在完成后述的刀臂伸出、180°回转、刀臂缩回等刀具交换动作后，将重新回到刀臂上位、70°到位的状态，此时，机床侧的检测开关输入状态与抓刀完成时的状态并无区别，为了避免程序再次产生刀具松开信号，程序中用于产生刀具松开起动脉冲 R522.6 的 70°到位延时继电器 T2 上，增加了刀臂下位记忆 R523.4 这一互锁信号。R523.4 由后述程序中的刀臂下位（伸出）检测开关输入信号 X4.4 产生；R523.4 = 1，表明机械手已完成刀具交换动作，禁止再次松开刀具。

3. 刀具交换

刀具交换包括刀臂伸出（向下卸刀）、机械手 180°回转（刀具交换）、刀臂缩回（向上



装刀）及主轴上的刀具夹紧等动作。其中，刀臂向下、机械手 180°回转、刀臂向上是由机械凸轮联动机构控制的连续运动，在 PMC 程序设计时，只需要保证机械手驱动电动机连续回转，便可自动实现；主轴刀具夹紧时，需要断开机械手驱动电动机，通过气动系统夹紧刀具。刀具交换控制的典型 PMC 程序如图 6-24 所示。

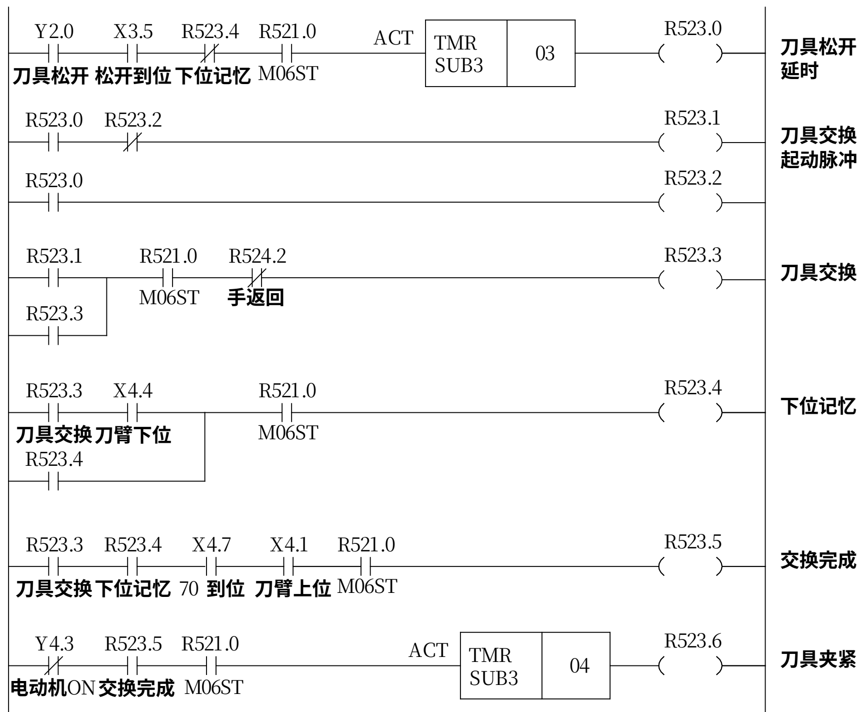


图 6-24　刀具交换控制程序

在图 6-24 所示的程序中，当主轴刀具松开电磁阀 Y2. 0 接通、检测开关 X3. 5 发信后，经 T3 的短时延时（各机床有所不同，通常小于 0. 5s），将产生刀具交换起动脉冲 R523. 1。R523. 1 可使机械手驱动电动机第 2 次起动信号 R523. 3 = 1 并保持，电动机再次起动，机械手将在凸轮联动机构的控制下，连续完成刀臂向下、机械手 180°回转、刀臂向上动作。

同样，当机械手完成上述动作、刀臂回到上位后，将成为刀臂上位、机械手 250°、刀具松开状态。由于机械手结构完全对称，其 70°到位和 250°到位信号实际上使用同一检测开关，因此，此时的机床侧检测开关输入信号状态将与刀具交换开始时的状态完全一致。为了避免刀具交换动作的再次启动，用来产生刀具交换启动脉冲 R523. 1 的松开延时继电器 T3 上，也需要增加刀臂下位记忆互锁信号 R523. 4。R523. 4 通过程序中的刀臂下位（伸出）检测开关信号 X4. 4 产生，信号将一致保持到 M06 执行完成。

当机械手完成刀具交换动作、刀臂回到上位后，交换完成信号 R523. 5 将为“1”，R523. 5 将通过后述的程序，立即断开输出 Y4. 3、停止电动机，使机械手在上位保持。Y4. 3 断开后，经过 T4 的短时延时（也可无延时），可产生刀具夹紧信号 R523. 6，R523. 6 = 1 时，将断开前述程序中的刀具松开和主轴吹气电磁阀输出 Y2. 0、Y2. 1，重新夹紧主轴上的刀具。

4. 机械手返回

执行机械手返回动作时，只需要第 3 次起动机械手驱动电动机，机械手便可在弧面凸轮

的控制下，返回到 180°位置。由于机械手的结构完全对称，因此，可在 180°位置上继续进行下一轮刀具交换循环。机械手返回的典型 PMC 程序如图 6-25 所示。

在图 6-25 所示程序中，当主轴刀具松开电磁阀 Y2. 0 断开、夹紧检测开关 X3. 4 发信后，经过 T5 的短时延时（各机床有所不同，通常小于 0. 5s），将产生机械手返回脉冲 R524. 0。R524. 0 可使机械手驱动电动机第 3 次起动信号 R524. 2 = 1 并保持，电动机第 3 次旋转，机械手在凸轮联动机构的控制下，完成返回动作。

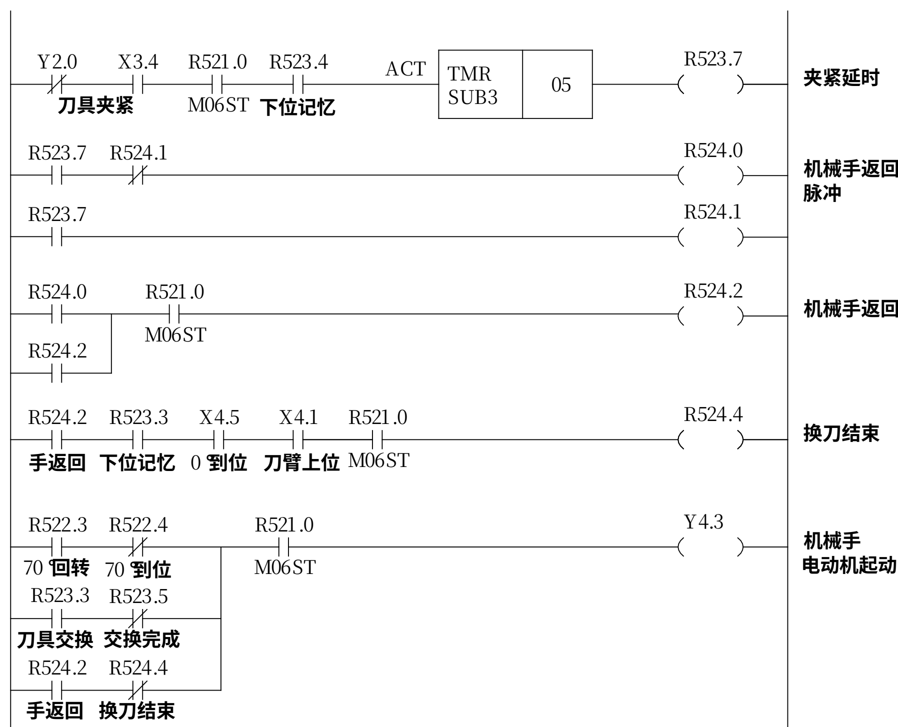


图 6-25　机械手返回控制程序

当机械手返回到 180°（相当于 0°）位置后，0°到位信号 X4. 5 = 1，使得换刀结束信号 R524. 4 = 1。R524. 4 = 1 代表整个换刀过程已经结束，它可立即断开机械手电动机接触器控制输出 Y4. 3；同时，由前述的程序断开刀套垂直电磁阀输出 Y2. 2、接通刀套水平电磁阀输出 Y2. 3，使刀库上的刀套恢复成水平状态。

程序中的机械手驱动电动机接触器控制输出 Y4. 3，综合考虑了 70°回转抓刀、刀具交换、机械手返回 3 种情况。70°回转抓刀时，Y4. 3 由 70°回转信号 R522. 3 启动、由 70°到位信号 R522. 4 断开，电动机停止后可执行主轴上的刀具松开动作；刀具交换时，Y4. 3 由刀具交换信号 R523. 3 第 2 次启动、由交换完成信号 R523. 5 断开，电动机停止后可执行主轴上的刀具夹紧动作；机械手返回时，Y4. 3 由机械手返回信号 R524. 2 启动、由换刀结束信号 R524. 4 断开，整个换刀动作结束。

5. 结束处理

在机械手换刀的加工中心上，M06 自动换刀指令执行完成后，需要进行随机刀具表的数据更新、M 代码完成应答处理，其典型程序如图 6-26 所示。



程序中的二进制数据传送指令 MOVB（SUB43）、数据表数据读写指令 XMOVB（SUB35）用于随机刀具表的数据更新。当机械手完成换刀后，CNC 加工程序中 T 代码所指定的刀具将被装入到主轴上，而原主轴上的刀具将被装入刀库换刀位的刀套中，因此，需要对随机刀具表中的数据寄存器 D000 及刀库换刀位数据寄存器中的刀具号数据进行更新。

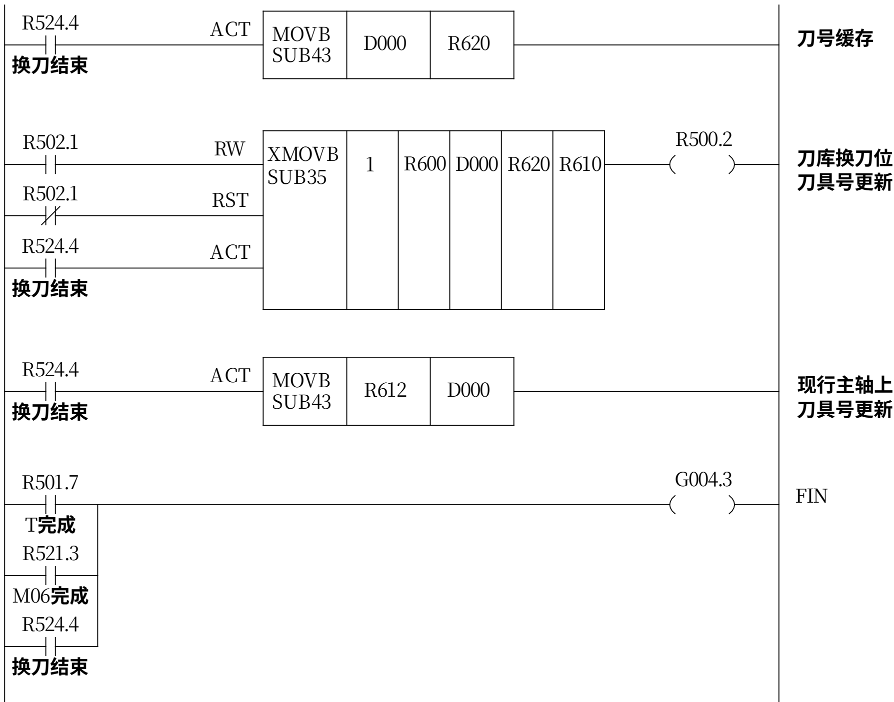


图 6-26　结束处理程序

程序中的第 1 条二进制数据传送指令 MOVB（SUB43）用于原主轴上刀具号的缓冲存储，执行指令可将随机刀具表中 D000 的数据（原主轴上的刀具号），传送到存储器 R620 上保存。程序中的数据表数据读写指令 XMOVB（SUB35），用于刀库换刀位数据寄存器的刀具号更新，指令的控制条件如下。

RW：读写控制信号。RW＝0 为数据读出、RW＝1 为数据写入，在本程序中 RW 恒为“1”，故可进行数据表的数据写入。

RST：复位输入。RST＝1 时，清除错误输出 WRT，在本程序中不使用该信号，故 RW 恒为“0”。

ACT：数据读写启动信号。程序中使用了换刀结束信号 R524. 4 启动数据读写，故可在换刀完成后，进行数据写入操作。

指令的参数作用依次如下。

1：二进制数据长度定义。可为 1 字节、2 字节、4 字节，对于 2 位 T 代码指令，为 1 字节数据。

R600：数据表长度。R600 为前述刀具预选程序计算得到的结果，数据表的长度为刀库刀位数加 1。

D000：数据表起始地址。随机刀具表的数据存储器起始地址为 D000。



R620：需要写入的数据。换刀完成后，需要将原主轴上的刀具号写入到刀库换刀位的数据存储器中，因此，其存储器地址应为缓冲存储器 R620。

R610：需要写入的数据存储器在数据表中的序号。程序中的 R610 为前述刀具预选程序中二进制数据检索指令 DSCHB 所得到的结果，即刀库换刀位所对应的数据存储器序号。

因此，执行 XMOVB（SUB35）指令后，R620 中的数据（原主轴上的刀具号）将被写入到刀库换刀位所对应的数据存储器中。

程序中的第 2 条二进制数据传送指令 MOVB（SUB43）用于对主轴上刀具号的更新。执行指令，可将前述刀具预选程序中 R612 上保存的 T 代码，写入到数据存储器 D000 上，成为现行主轴上的刀具号。

以上程序中的指令 MOVB（SUB43）也可使用数据表数据读写指令 XMOVB（SUB35），通过数据表读写的方式更新数据。例如，进行主轴上刀具号更新时，可先通过 XMOVB（SUB35）指令，读出刀库换刀位数据存储器上的刀具号，然后再将其写入到 D000 中等。

图 6-26 所示程序中的 FIN（G004.3）信号用于 CNC 辅助功能执行完成应答，对于机械手自动换刀，它包括了前述刀具预选程序中的 T 代码执行完成应答 R501.7，以及 M06 自动换刀指令执行完成应答等部分；在实际 PMC 程序上，FIN 信号还需要考虑更多的其他辅助功能应答条件。辅助功能应答程序的作用与其他换刀方式相似，在此不再说明。

6.4 液压机械手换刀控制

6.4.1 自动换刀控制要求

1. 基本说明

采用机械联动凸轮驱动的自动换刀装置具有结构紧凑、换刀快捷、控制容易等优点，但它对刀库和主轴的相对位置有规定，机械安装、调整要求较高；长期使用时，凸轮机构的间隙、磨损等也将直接影响到换刀动作的准确性和可靠性，故多用于中小型工作台移动的通用型加工中心。

液压（或气动）系统控制的机械手换刀是加工中心自动换刀装置的传统形式，它具有适用面广、结构设计灵活、动作可靠、安装调整方便等诸多优点，几乎可满足任何形式的加工中心换刀控制要求，因此，至今仍有较广泛的使用。

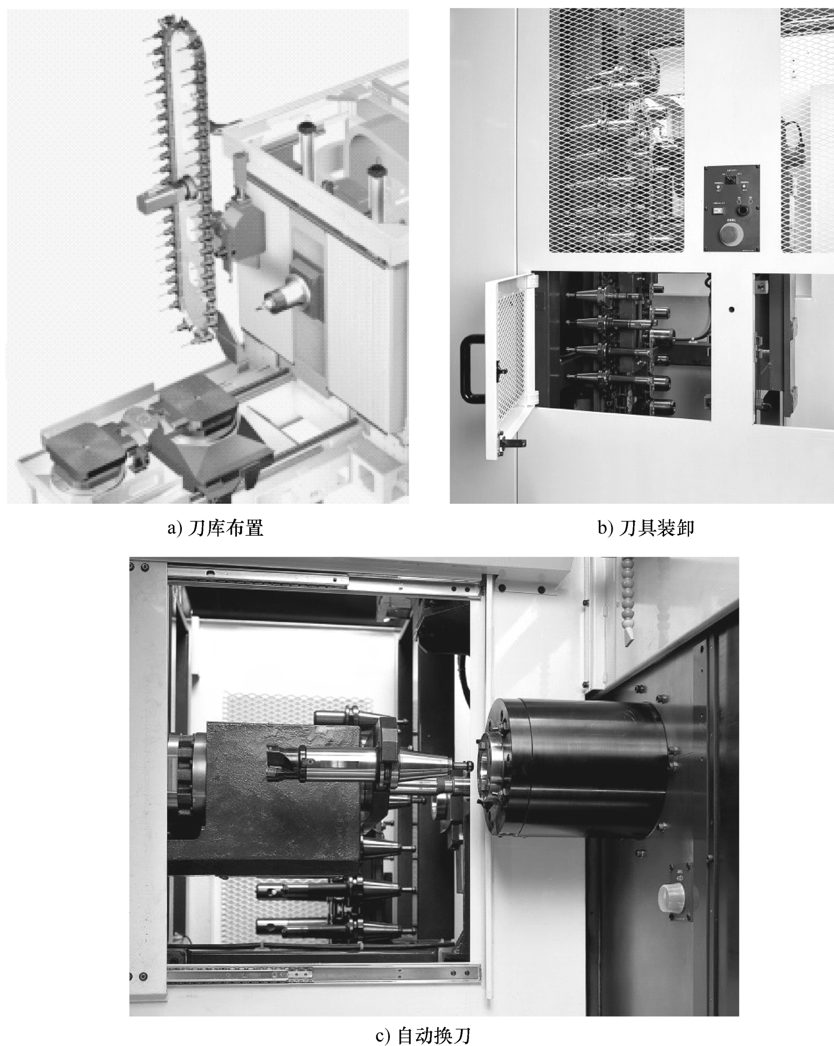
液压（或气动）机械手换刀装置的形式众多、结构各异。虽然用于中小型加工中心的液压（或气动）机械手换刀装置，也有专业生产厂家将其作为通用部件生产，但此类产品的结构及换刀动作大多类似于机械凸轮联动换刀装置，它只是以液压油缸（或气缸）代替凸轮联动机构，进行机械手回转和刀臂伸缩运动控制而已；在部分产品上，有时还采用机械凸轮和液压（或气动）复合驱动的方式，控制机械手换刀动作。因此，其自动换刀的基本动作及控制要求与机械凸轮联动换刀装置类似，本书不再对此进行专门说明。

液压机械手换刀装置的结构复杂、生产制造成本较高，在大、中型卧式或龙门式加工中心上应用较为广泛。一般而言，卧式或龙门式加工中心是用于大、中型零件加工的设备，机床的适用面广、切削能力强，要求刀库具有较大的容量，并能够进行大型刀具的自动交换，因此需要采用布置灵活、动作可靠、安装调整方便的液压机械手换刀装置。



卧式或龙门式加工中心的结构差异较大，机床的自动换刀系统通常由机床生产厂家自行设计制造，因此，不同机床的自动换刀的实现形式、自动换刀装置的机械结构及刀库的安装方式等均有较大的不同。

图 6-27 为中型卧式加工中心使用较为广泛的常见结构。为了简化自动换刀装置结构，机床一般采用图 6-27a 所示的刀库与主轴平行布置的方式；刀库上的刀具手动装卸可在图 6-27b 所示的侧面进行；刀具交换时机械手只需要进行图 6-27c 所示的 90°回转抓刀、刀臂伸出卸刀、机械手 180°回转刀具交换、刀臂缩回装刀及主轴上的刀具夹紧/松开等基本动作。

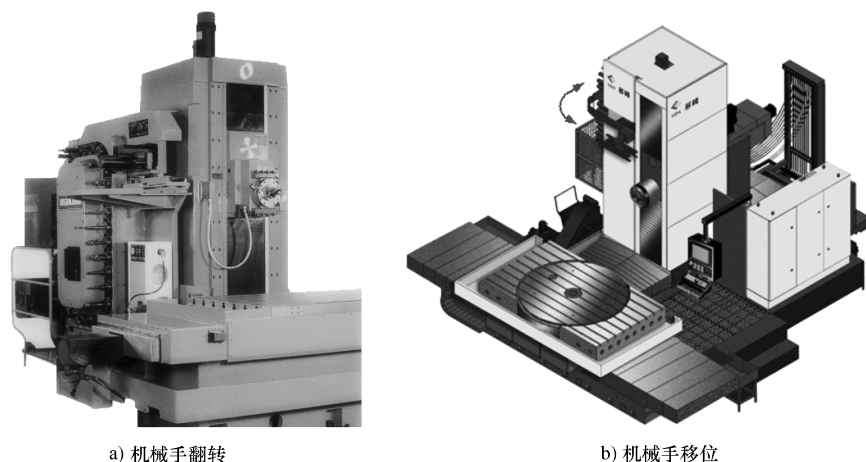


a) 刀库布置　　b) 刀具装卸

c) 自动换刀

图 6-27　中型卧式加工中心的换刀示例

大型卧式加工中心使用的刀具众多，机床一般采用立柱移动或箱体移动式结构，故刀库安装位置通常远离主轴，自动换刀时，机械手不仅需要有抓刀、升缩、180°回转交换等基本动作，而且还需要进行图 6-28a 所示的机械手的翻转，或图 6-28b 所示的机械手移位等动作，才能进行刀库侧和主轴侧的刀具装卸，其换刀动作更为复杂。



a) 机械手翻转　　b) 机械手移位

图 6-28　大型卧式加工中心的换刀示例

2. 刀库回转系统

大中型加工中心的刀库体积大，安装的刀具数量多、重量重，刀库一般需要采用链轮传动系统，驱动电动机通过蜗轮/蜗杆等大比例减速器减速后，驱动链轮、带动刀库回转。图 6-29 为链传动刀库示例。

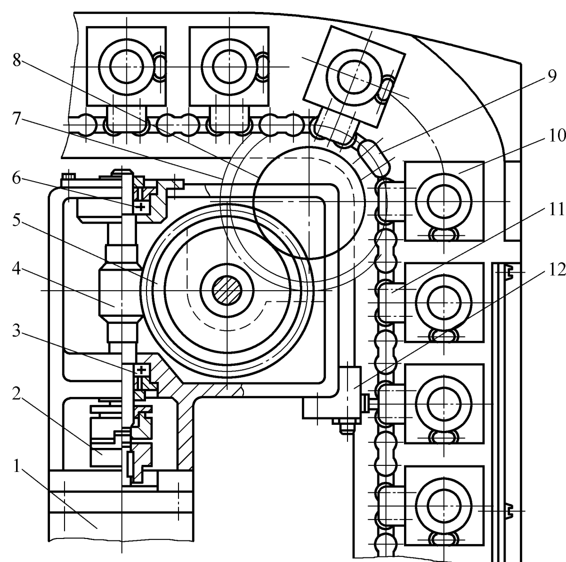


图 6-29　链轮传动系统

1—电动机　2—联轴器　3—前轴承　4—蜗杆　5—蜗轮　6—后轴承　7—链轮
8—齿轮　9—链条　10—刀座　11—连接板　12—张紧装置

图中的刀库回转电动机 1 通过联轴器 2 和蜗杆 4 连接，蜗轮 5 和链轮 7 上安装有同轴齿轮，蜗轮通过齿轮带动链轮旋转。刀座 10 安装在导向轨上，它可通过连接板 11 和链条 9 带



动回转，刀座的尾部带有弹簧夹紧装置（图中未画出），可夹紧刀柄上的拉钉，防止刀具脱落。张紧机构 12 用于链条张紧。

链传动的刀库不能实现刚性定位，为保证换刀的可靠，刀库一般都需要有机械插销定位装置，对换刀位的刀座进行刚性定位，确保定位可靠；此外，由于刀库安装的刀具数量多、规格大，刀库回转运动部件的质量和惯性很大，为保证运动平稳、定位准确，刀库回转电动机一般需要通过变频器等调速装置，输出高速回转和减速定速两种转速。

3. 机械手换刀动作

虽然液压机械手换刀装置的结构形式众多，换刀动作有所区别，但 PMC 程序设计的基本思路相同。以图 6-27 所示的中型卧式加工中心常见的液压机械手换刀装置为例，自动换刀时的机械手基本动作一般如图 6-30 所示。

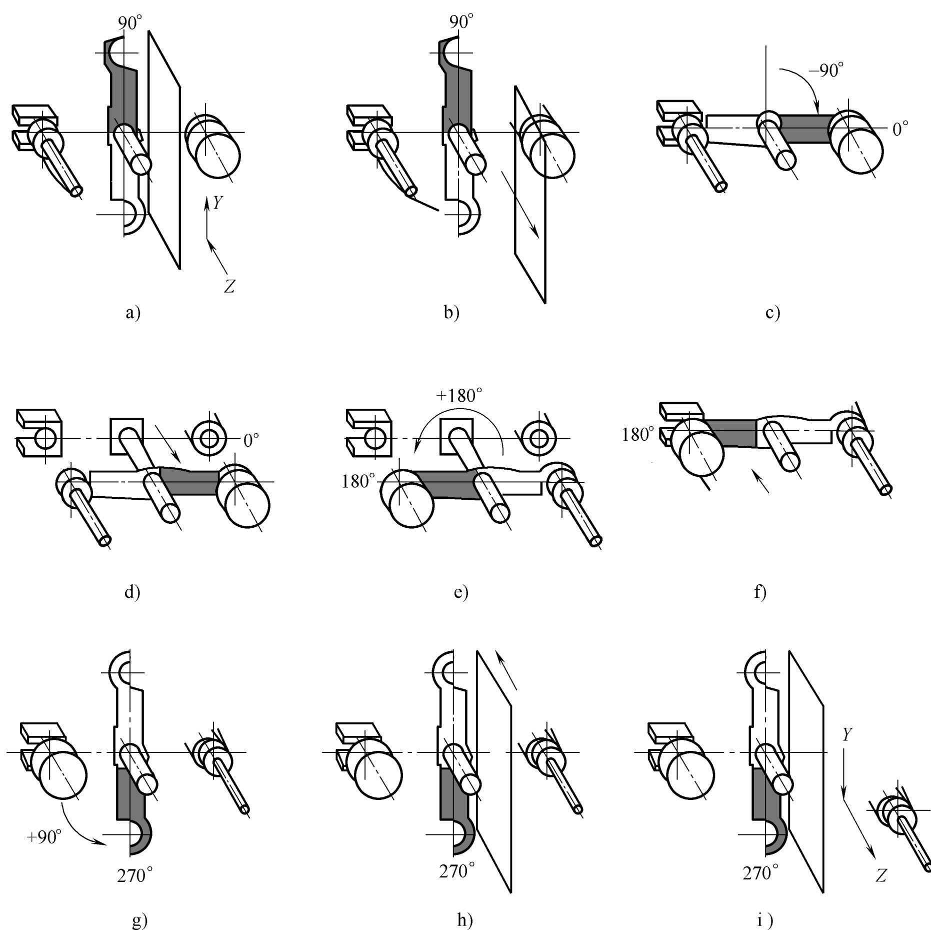


图 6-30　液压机械手换刀的基本动作

图 6-30a 所示为换刀准备。在换刀前，机械手处于 90°、缩回的初始位置，刀库需要完成刀具预选，将需更换的刀具回转到刀库的换刀位上；同时，主轴应完成定向准停、*Y/Z* 轴需要移动到换刀位置。

图 6-30b 所示为打开防护门。卧式加工中心的刀库和加工区域间通常有隔离防护门，以

防止冷却液、铁屑进入刀库，自动换刀开始时，一般需要先打开防护门。

图 6-30c 所示为抓刀。防护门打开后，机械手在液压系统的驱动下，顺时针回转 90°、到达 0°位置，使得两侧手爪分别夹住主轴和刀库上的刀具；完成后，松开主轴上的刀具。

图 6-30d 所示为卸刀。主轴上刀具松开后，机械手前伸，使主轴和刀库上的刀具分别从主轴锥孔和刀库刀套中取出。

图 6-30e 所示为交换。机械手伸出到位后，逆时针回转 180°，到达 180°位置，进行主轴侧和刀库侧的刀具互换。

图 6-30f 所示为装刀。回转到位后，机械手缩回，将交换后的刀具分别装入主轴锥孔和刀库刀套中；完成后，夹紧主轴上的刀具。

图 6-30g 所示为机械手返回。主轴刀具夹紧后，机械手逆时针回转 90°，到达 270°位置，完成机械手换刀动作。由于机械手两侧的结构完全对称，因此，270°位置和 90°初始位置相同，可直接进行下一刀具的更换。

图 6-30h 所示为结束换刀。机械手换刀完成后，关闭刀库防护门、180°回转油缸复位。

图 6-30i 所示为重新加工。防护门关闭后，*Y*、*Z* 轴离开换刀位置、主轴旋转进行零件加工；同时，刀库可进行下一把刀具的预选，为下次换刀做好准备。

6.4.2 PMC 程序设计要求

1. 液压系统原理图

液压机械手换刀加工中心的 PMC 程序设计，需根据机床的液压系统原理图和电磁元件接通表，结合换刀动作进行。对于上述图 6-30 所示的机械手换刀控制，其典型的液压系统原理如图 6-31 所示。

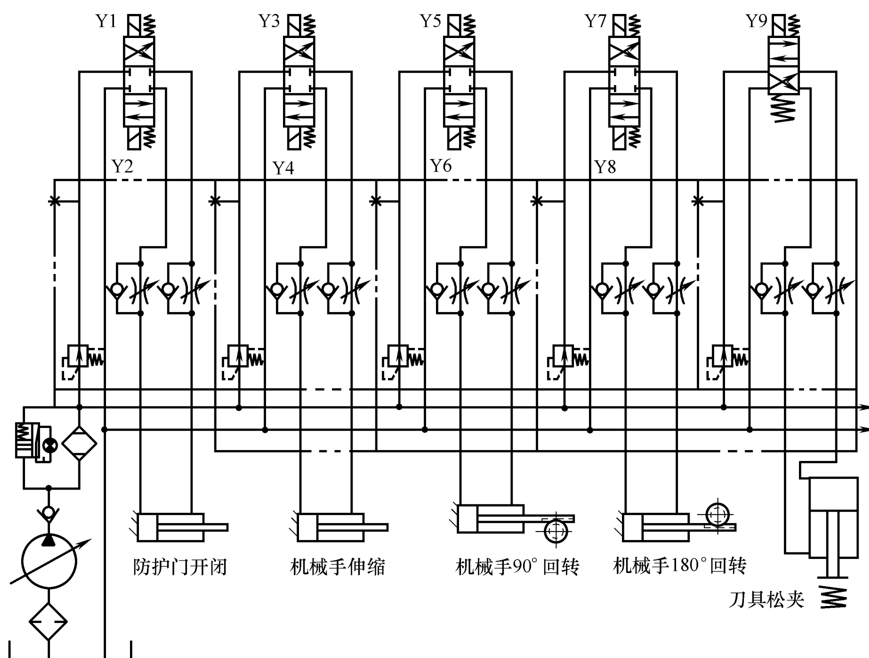


图 6-31　自动换刀控制液压系统原理图



图 6-31 是机床液压系统的部分原理图，由于卧式加工中心的结构通常比较复杂，机床一般都需要配置数控转台（*B* 轴）、主轴换档等辅助机构；部分机床还可能有 *Y* 轴平衡、工作台自动交换等装置，因此，完整的液压系统除了图中的刀具夹紧/松开、机械手换刀、刀库防护门控制外，还可能有 *B* 轴夹紧/松开、主轴传动级交换、*Y* 轴平衡、工作台自动交换，以及刀库回转定位的插销/拔销等。

2. 电磁阀动作表

虽然不同机床的液压系统设计、器件规格等可能有所区别，但其机械手换刀部分的基本结构和控制要求相似。当机床执行图 6-30 所示的机械手换刀动作时，图 6-31 所示液压系统中的电磁阀动作如表 6-10 所示，每一动作执行完成（到位）后，都有相应的行程开关检测信号。

表 6-10　机械手换刀控制电磁阀动作表

序号	机械手动作	电磁阀动作								
		Y1	Y2	Y3	Y4	Y5	Y6	Y7	Y8	Y9
1	初始位置	−	+	−	+	−	+	−	+	−
2	防护门打开	+	−	−	+	−	+	−	+	−
3	机械手-90°回转	+	−	−	+	+	−	−	+	−
4	刀具松开	+	−	−	+	+	−	−	+	+
5	刀臂伸出	+	−	+	−	+	−	−	+	+
6	机械手 +180°回转	+	−	+	−	+	−	+	−	+
7	刀臂缩回	+	−	−	+	+	−	+	−	+
8	刀具夹紧	+	−	−	+	+	−	+	−	−
9	机械手 +90°回转	+	−	−	+	−	+	+	−	−
10	防护门关闭	−	+	−	+	−	+	+	−	−
	180°回转油缸返回	−	+	−	+	−	+	−	+	−

注：+：电磁阀接通；−：电磁阀断开。

3. PMC-I/O 地址

为了便于程序说明，现将 FS-0iMD 等数控系统的 T 代码、M 代码等与自动换刀控制有关的 PMC-CNC 接口信号，及假设的机床侧 I/O 信号地址归纳为表 6-11 所示，表中的机床侧 I/O 信号地址可根据实际 I/O 配置改变。

表 6-11　机械手换刀控制信号地址一览表

代号	名　称	类 别	PMC 地址	备　注
DEN	分配结束	CNC-PMC 接口信号输入	F001.3	“1”坐标轴运动结束
MF	M 代码选通	CNC-PMC 接口信号输入	F007.0	“1”M 代码输出有效
TF	T 代码选通	CNC-PMC 接口信号输入	F007.3	“1”T 代码输出有效
M00 ~ M31	M 代码	CNC-PMC 接口信号输入	F010 ~ F013	32 位二进制 M 代码
T00 ~ T31	T 代码	CNC-PMC 接口信号输入	F026 ~ F029	32 位二进制 T 代码
S11	刀库防护门开	机床信号输入	X3.0	参考地址,1:打开;0:关闭

（续）

代号	名　　称	类 别	PMC 地址	备　注
S12	刀库防护门闭	机床信号输入	X3.1	参考地址，1：关闭；0：打开
S13	刀库回转拔销	机床信号输入	X3.2	参考地址，1：拔销；0：插销
S14	刀库定位插销	机床信号输入	X3.3	参考地址，1：插销；0：拔销
S15	刀具夹紧	机床信号输入	X3.4	参考地址，1：夹紧；0：松开
S16	刀具松开	机床信号输入	X3.5	参考地址，1：松开；0：夹紧
S20	刀位计数	机床信号输入	X4.0	参考地址
S21	刀库回转到位①	机床信号输入	X4.1	参考地址
S22	机械手-90°	机床信号输入	X4.2	参考地址
S23	机械手 +90°	机床信号输入	X4.3	参考地址
S24	刀臂伸出	机床信号输入	X4.4	参考地址
S25	刀臂缩回	机床信号输入	X4.5	参考地址
S26	机械手 +180°	机床信号输入	X4.6	参考地址
S27	180°油缸返回	机床信号输入	X4.7	参考地址
FIN	辅助功能结束	CNC-PMC 接口信号输出	G004.3	M/S/T/B 执行完成
Y1	刀库防护门开	机床输出	Y2.0	参考地址
Y2	刀库防护门闭	机床输出	Y2.1	参考地址
Y3	刀臂伸出	机床输出	Y2.2	参考地址
Y4	刀臂缩回	机床输出	Y2.3	参考地址
Y5	机械手-90°	机床输出	Y2.4	参考地址
Y6	机械手 +90°	机床输出	Y2.5	参考地址
Y7	机械手 +180°	机床输出	Y2.6	参考地址
Y8	180°油缸返回	机床输出	Y2.7	参考地址
Y9	刀具松开/夹紧	机床输出	Y3.0	参考地址，1：松开；0：夹紧
Y10	刀库拔销/插销	机床输出	Y3.1	参考地址，1：拔销；0：插销
K1	刀库正转	机床输出	Y3.2	参考地址
K2	刀库反转	机床输出	Y3.3	参考地址
K3	刀库减速	机床输出	Y3.4	参考地址

① 部分机床无此开关。

6.4.3　刀具预选程序典例

在采用液压机械手自动换刀的加工中心上，刀具预选的 PMC 程序设计方法与前述的凸轮机械手换刀基本相同，它同样需要建立随机刀具表，并编制 T 代码处理和刀库回转选刀 PMC 程序。

1. 随机刀具表

机械手换刀时，刀库换刀位的刀具同样需要和主轴上的刀具互换，刀库刀套上所安装的刀具号将随着刀具交换的进行而不断改变，因此，也需要建立随机刀具表。



随机刀具表的建立方法与凸轮机械手换刀相同，有关内容可参见 6.3 节。为了便于数据检查和修改，随机刀具表一般也由 PMC 的数据寄存器 D 构成；并将刀具表的数据寄存器起始地址设定为 D000。

以 64 把刀的刀库为例，随机刀具表的典型格式如表 6-12 所示，刀具表中的数据存储格式一般应选择二进制，由于卧式加工中心的刀具数量较多，数据表的数据长度有时需要选择 2 字节。

表 6-12　64 把刀加工中心的随机刀具表

数据寄存器地址	数据格式	数据长度	数据寄存器的内容(数值)
D000	二进制	1 字节或 2 字节	主轴上的现行刀具号
D001	二进制	1 字节或 2 字节	刀库 1 号刀套上的现行刀具号
D002	二进制	1 字节或 2 字节	刀库 2 号刀套上的现行刀具号
……	……	1 字节或 2 字节	……
D064	二进制	1 字节或 2 字节	刀库 64 号刀套上的现行刀具号

2. T 代码处理程序

液压机械手换刀加工中心的 T 代码处理程序同样包括主轴刀号比较、刀具检索、刀库换刀位刀号比较、刀具预选启动、T 代码完成应答等部分。程序设计时，也需要考虑加工程序中出现 T 代码重复指令的可能性，确保这种情况下的换刀正确。

如果 CNC 加工程序采用的是 2 位 T 代码编程，采用液压机械手换刀加工中心的 T 代码处理程序，可直接使用图 6-19 所示的、与凸轮机械手换刀完全一致的 PMC 程序。程序可根据 T 代码指令刀具和主轴刀具相同、指令刀具和刀库换刀位刀具相同、指令刀具在刀库中不存在、需要进行刀具预选等不同情况，分别产生 R500.0、R500.4、R500.3、R501.0 等状态信号；并计算、生成 T 代码缓冲存储器 R612、数据表长度存储器 R600、指令刀具所在的数据序号存储器 R610 等内容，用于换刀完成后的随机刀具表数据更新。

T 代码处理结束，状态寄存器 R500.0、R500.3、R500.4、R501.0 被刷新后，可通过 T 完成应答信号 R501.7，将辅助功能完成应答信号 FIN 置“1”，结束 T 指令执行，使刀库在 PMC 程序的控制下，在机床进行加工的同时，进行回转选刀动作。

3. 刀库回转准备程序

采用链传动的刀库回转选刀控制，不仅需要有转向判别、正反转控制、刀位计数等基本程序，而且还需要进行回转减速、定位插销/拔销等动作控制，其 PMC 程序一般可分为刀库回转准备和刀库回转控制两部分。

链传动刀库的回转准备包括刀位计数、换刀宏程序跳转、刀库回转拔销、减速刀位计算和转向判别等部分，其典型程序如图 6-32 所示。

链传动刀库的刀位计数，通常也采用计数开关计数方式，在 FS-0iD 等 CNC 上，它可直接通过 PMC 的回转计数功能指令 CTR（SUB5）实现。指令 CTR 的作用及功能在前述的典例中已有详细说明，有关内容可参见 5.3 节。

程序中的 G054.0 为 FANUC 的用户宏程序输入信号（UI000），其状态可直接在 CNC 用户宏程序中阅读，该信号用于后述的 M06 换刀宏程序的跳转控制。当加工程序中 T 代码指令的刀具和现行主轴上的刀具一致（R500.0 = 1），或 T 代码指令的刀具在刀库中不存在

（R500. 3 = 1）时，G054. 0 将为“1”；此时，将直接结束 M06 换刀宏程序，机械手不再执行换刀动作。

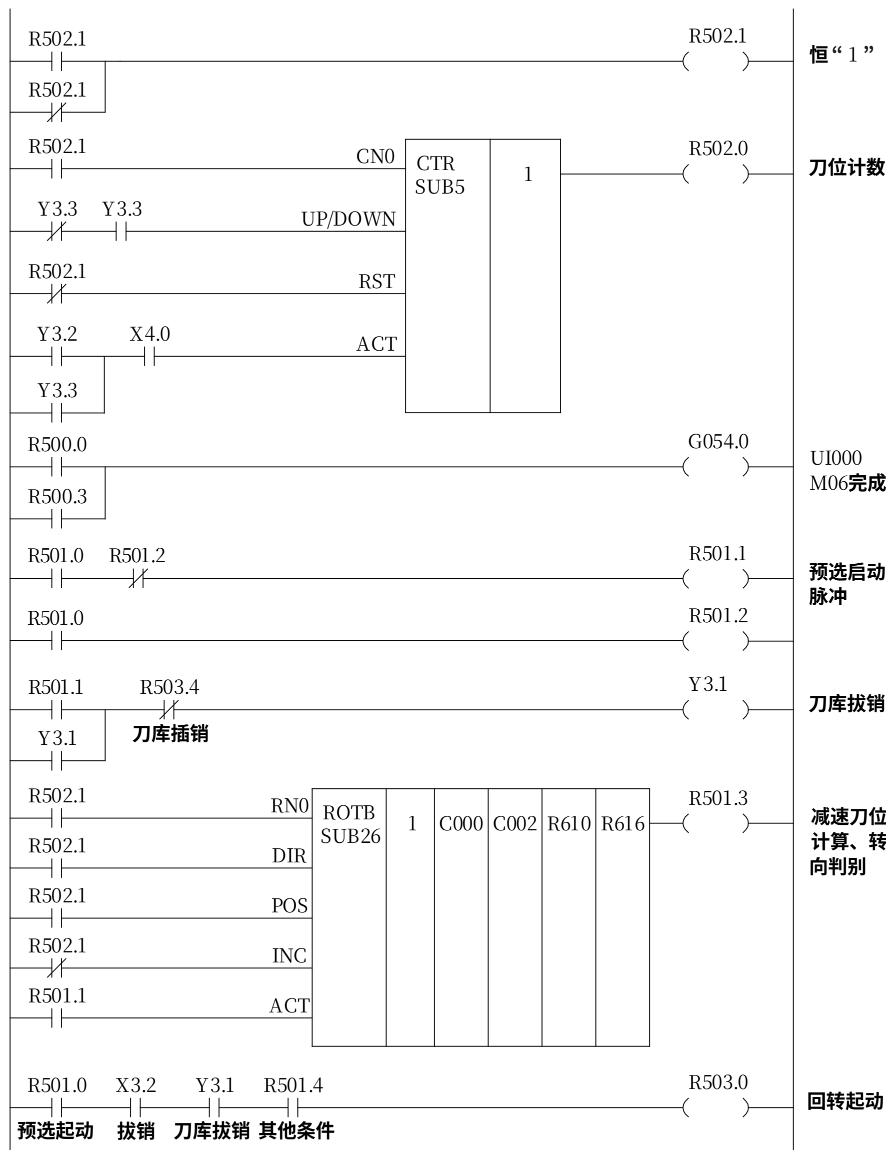


图 6-32　刀库回转准备程序

当 T 代码处理程序中的刀具预选信号 R501. 0 = 1 时，将通过预选起动脉冲 R501. 1 启动刀库回转选刀动作。启动脉冲 R501. 1 首先将接通刀库拔销电磁阀输出 Y3. 1，解除刀库回转定位；同时，它将通过二进制回转控制指令 ROTB（SUB26），计算出刀库回转时的减速刀位，以便控制刀库电动机的减速动作。

链传动刀库的回转减速一般在刀库回转到定位目标位置前一刀位时进行，以保证刀库定位前有一个刀位的减速距离。指令 ROTB（SUB26）用于减速刀位计算和转向判别，其控制条件和指令参数定义如下。



RN0 = 1：回转计数的初始值（刀库最小刀座号）为“1”。

DIR = 1：捷径选择功能有效。转向信号可通过结果寄存器 R501.3 输出，R501.3 = 0 为正转，R501.3 = 1 为反转。

POS = 1：以目标位置（T 代码指令刀具所安装的刀位）的前一刀位作为定位目标，计算刀库需要回转的刀位数（INC = 1）或定位目标刀位号（INC = 0）。

INC = 0：结果存储器 R616 上的输出为定位目标刀位号（目标位置的前一刀位）。

ACT：指令执行启动信号。程序中利用预选启动脉冲 R501.1 启动指令、计算定位目标、判别转向。

ROTB 指令中的参数定义如下。

1：指令数据的长度为 1 字节。当 CNC 加工程序使用 2 位 T 代码编程时，只需要进行 1 字节处理。

C000：以存储器地址形式给定的回转体最大分度值，即刀库容量（刀套的数量）。因刀位计数程序中，已定义计数器 C1 用于刀位计数，因此，C1 的计数存储器 C000，就是回转体的最大分度值（刀库容量）。

C002：回转体的当前位置。就是 C1 计数存储器 C002 中的现行计数值。

R610：回转目标位置。它是 T 代码处理程序中所存储的 CNC 编程刀号。

R616：结果存储器。当控制条件 POS = 1、INC = 0 时，R616 上可以得到目标位置（T 代码指令刀具所安装的刀位）的前一刀位号。

R501.3：转向输出。刀库捷径回转的转向，R501.3 = 0 为正转，R501.3 = 1 为反转。

因此，指令 ROTB 执行后，可在 R616 上得到刀库定位减速的刀位号；在 R501.3 上得到刀库回转方向信号。

当刀库拔销电磁阀 Y3.1 接通后，如拔销到位检测开关 X3.2 = 1，且刀库回转的其他条件满足（如刀库门手动装刀完成、防护门关闭等）、R501.4 = 1 时，刀库回转启动信号 R503.0 将为“1”，该信号将启动刀库回转选刀。

4. 刀库回转控制程序

链传动刀库的回转控制程序一般包括正反转控制、减速控制、到位判别、定位插销等，其典型程序如图 6-33 所示。

当刀库拔销完成、回转条件满足，回转启动信号 R503.0 为“1”时，刀库回转脉冲 R503.1 将为“1”。此时，PMC 程序将根据前述 ROTB 指令的转向输出 R501.3 的状态，输出刀库正转信号 Y3.2 或反转信号 Y3.3，使刀库捷径回转选刀。

当刀库回转到达目标位置的前一刀位时，刀位计数器 C1 的现行计数值 C002 将等于 ROTB 指令计算得到的定位减速刀位号 R616，执行减速判别指令 COMPB 后，系统内部继电器 R9000.0 将为“1”，从而刀库减速输出信号 Y3.4 将为“1”，刀库开始减速定位。

进而，当刀库慢速回转到达目标位置后，刀位计数器 C1 的现行计数值 C002 将等于 T 代码指令刀具所在的目标刀位 R610，此时，只要刀库回转到位信号 X4.1 为“1”，执行到位判别指令 COMPB（SUB32）后，刀库定位插销信号 R503.4 将为“1”。刀库回转到位信号 X4.1 用于刀库回转到位的检测，刀库的任一刀位回转到位时，该信号总是为“1”；在部分机床上，也有直接以刀位计数开关代替的情况。

R503.4 = 1 后，将断开前述程序中的刀库拔销电磁阀输出 Y3.1，使刀库重新插销定位；



图 6-33　刀库回转控制程序

同时，它还将撤销程序中的刀库正转、反转及减速输出，停止刀库回转电动机。

刀库定位插销到位后，插销到位检测信号 X3.3 将为“1”，信号经定时器 T10 的短时延时（0.5s 左右）后，使刀库预选完成信号 R501.6 = 1。信号 R503.4、R501.6 将一直保持，直到 M06 换刀完成、加工程序中再次指令 T 代码时，才能由 TF 的首循环脉冲 R500.6 复位。

6.4.4　换刀宏程序典例

1. 基本说明

由于卧式加工中心的换刀动作比较复杂，部分机床在换刀时可能还需要有 *X*、*Y*、*Z* 等坐标轴的运动，因此，为了简化 PMC 程序设计、方便调试维修，其机械手自动换刀动作（M06 指令）通常采用用户宏程序进行控制。

卧式加工中心机械手换刀宏程序设计的基本思路和方法，与前述的主轴移动式直接换刀相同，有关内容可参见本章 6.2 节。有关 FS-0iD 用户宏程序的编制方法、变量说明等更多内容，可参见本书作者编写的《FANUC-0iD 编程与操作》（机械工业出版社，2013 年 5 月）一书。



卧式加工中心的机械手自动换刀控制，一般采用 CNC 加工程序中的 M06 代码控制，因此，需要在 CNC 参数 PRM6071～6079、PRM6080～6089 上，设定 M06 指令所调用的用户宏程序号。例如，当 M06 指令所调用的换刀宏程序号定义为 O9001 时，可设定 CNC 参数 PRM 6071＝06 等。

用于宏程序调用的 M06 代码将由 CNC 的操作系统进行内部处理，M 代码信号不再输出到 PMC，故无须 PMC 程序进行 M06 的译码、完成应答等处理。

2. M 代码定义

为了便于 PMC 程序设计，在用户宏程序中，需要将自动换刀时的机床动作，分解成为由宏程序中特定的辅助功能代码 M 控制的独立动作，以简化 PMC 程序设计、方便换刀动作的检查和调试。

对于上述卧式加工中心的机械手换刀控制，其换刀动作可分解为以下 M 代码控制的独立动作。

M80：换刀开始，刀库防护门打开；

M81：换刀结束，刀库防护门关闭、180°回转油缸返回；

M82：机械手－90°（回转抓刀）；

M83：机械手＋90°（机械手返回）；

M84：刀具松开；

M85：刀具夹紧；

M86：刀臂伸出（卸刀）；

M87：刀臂缩回（装刀）；

M88：机械手＋180°回转（换刀）。

根据设计者的习惯，上述的 M80～M88 代码也可以是与 CNC 内部控制无关的其他 M 代码，如 M70～M78、M50～M58 等。

3. 宏程序输入/输出定义

CNC 和 PMC 程序之间的二进制状态信号交换，可通过宏程序输入信号 UI000～UI015 和宏程序输出信号 UO000～UO015 进行。

在用户宏程序中，宏程序输入信号 UI000～UI015 通常用于宏程序的条件转移、报警等程序执行控制。UI000～UI015 为 PMC 传送到 CNC 的二进制位信号，其状态可通过 PMC 程序对 CNC-PMC 接口信号 G054.0～G055.7 的输出控制进行改变；在宏程序中，UI000～UI015 的状态可通过系统变量［#_ UI［0］］～［#_ UI［15］］进行读取。

宏程序输出 UO000～UO015 为 CNC 传送到 PMC 的二进制位信号，它可以像 PMC 的其他输入一样在 PMC 程序中进行编程。UO000～UO015 的状态可在用户宏程序上，通过对系统变量［#_ UO［0］］～［#_ UO［15］］的赋值改变；在 PMC 程序中，UO000～UO015 可通过 CNC-PMC 接口信号 F054.0～F055.7 读取。

例如，对于上述卧式加工中心机械手换刀控制，当加工程序中 T 代码指定的刀具在刀库中不存在或指令刀具和主轴现行刀具一致时，可通过 PMC 程序，将宏程序输入信号 UI000 所对应的 PMC 输出 G054.0 置为“1”；在宏程序中，则可利用 UI000 控制条件转移，直接结束换刀宏程序的执行。

4. 换刀宏程序典例

当机床自动换刀宏程序调用指令为 M06、宏程序号为 O 9001（PRM6071 = 06），并假设自动换刀时的 *Y*、*Z* 轴定位点为参考点时，按以上思路设计的、用于卧式加工中心机械手换刀控制的宏程序典例如下。

```
O 9001;                              // M06 调用的自动换刀宏程序号
N1 IF [[#_UI[0]] EQ 1] GOTO 10;      // 刀号错误或刀号一致,跳转到 N10,程序结束
[#_M_SBK] =1                         // 定义宏程序为连续执行
[#_M_FIN] =0                         // 定义程序段转换需要等待 M 代码完成信号 FIN
[#_M_FHD] =0                         // 进给保持信号有效
[#_M_OV] =0                          // 进给倍率调节信号有效
N2 G28 Y0 Z0 M19;                    // 确保换刀前 Y、Z 轴已回参考点、主轴定向准停
M80;                                 // 换刀开始,刀库防护门打开
M82;                                 // 机械手回转 -90°抓刀
M84;                                 // 主轴上的刀具松开
G04 X0.5;                            // 刀具松开延时 0.5s
M86;                                 // 刀臂伸出卸刀
M88;                                 // 机械手 180°回转换刀
M87;                                 // 刀臂缩回装刀
M85;                                 // 主轴刀具夹紧
G04 X0.5;                            // 刀具夹紧延时 0.5s
M83;                                 // 机械手 +90°返回
M81;                                 // 换刀结束,刀库防护门关闭、180°回转油缸返回
N10 M99;                             // 宏程序结束返回
```

以上程序中的［#_ UI［0］］、［#_ M_ SBK］、［#_ M_ FIN］、［#_ M_ FHD］、［#_ M_ OV］是以“变量名”形式表示的宏程序系统变量，它们也可利用系统变量#1000、#3003、#3004 进行编程，相关说明可参见 6. 2 节。此外，为了简化 PMC 程序、方便程序调试和松开、夹紧的延时调整，程序中直接使用了 CNC 加工程序暂停指令 G04，替代了原来由 PMC 程序实现的刀具松开、夹紧延时。

有关 CNC 系统变量的功能、含义等详细内容，可参见本书作者编写的《FANUC-0iD 编程与操作》（机械工业出版社，2013 年 5 月）一书。

6. 4. 5　机械手换刀程序典例

当机械手换刀采用用户宏程序控制后，其 PMC 程序的设计就非常简单，程序中只需要进行 M80 ~ M88 指令的译码，并根据机械手的动作要求，利用 M 代码译码信号控制相关电磁元件的动作便可。

实现上述机械手换刀动作的典型 PMC 程序如图 6-34 所示。程序中的二进制译码指令 DECB（SUB25）可将来自 CNC 的 32 位二进制 M 代码 F010 ~ F013 中的 M80 ~ M87、M88，依次转换为独立的二进制位信号 R530. 0 ~ R530. 7、R531. 0，其他均为 M 代码处理程序。





图 6-34　机械手换刀控制程序



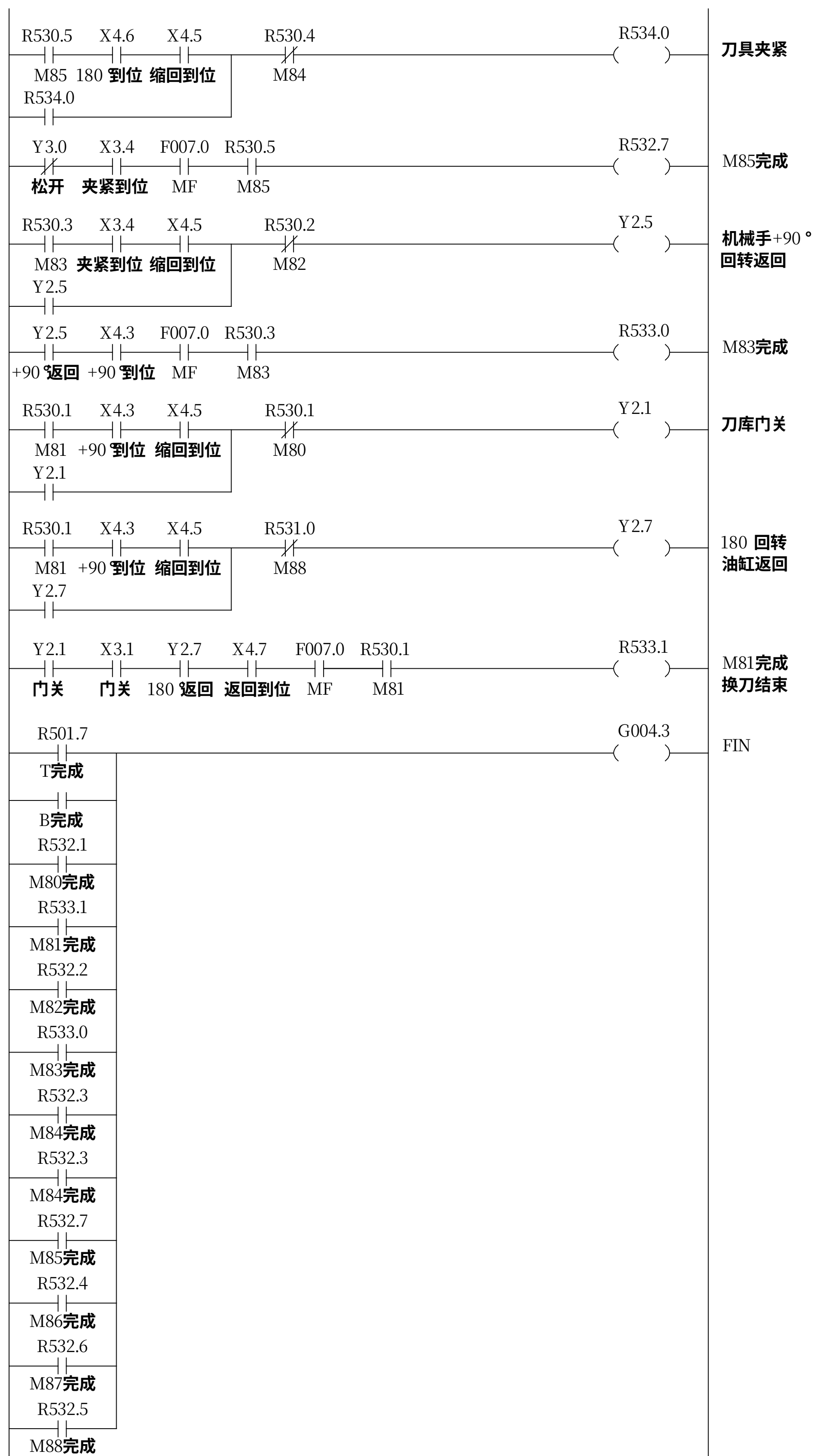


图 6-34　机械手换刀控制程序（续）



程序中的 R532.0 为机械手换刀的启动条件，它在 R500.4 或 R501.6 为“1”时可输出“1”，表明刀库换刀位的刀具号已和 T 代码指令的刀具号一致，允许启动机械手换刀。R500.4 由前述的 T 代码处理程序生成，当刀库换刀位的刀具号和 T 代码指令的刀具号一致时，R500.4 = 1。R501.6 则由前述的刀具预选程序生成，当刀库预选完成后，R501.6 = 1；如刀具预选尚未完成，打开刀库门、换刀开始的 M80 指令需要等待预选完成后才能启动。在实际机床上，机械手换刀的启动，一般还需要增加主轴定向准停到位检测、*Y/Z* 换刀位置到达检测、液压压力到达检测等其他条件。

当机械手换刀启动条件满足后，执行宏程序中的 M80 指令，将接通电磁阀 Y2.0，打开刀库门。当刀库门打开电磁阀 Y2.0 接通、检测开关 X3.0 发信后，M80 完成信号 R532.1 将为“1”，该信号将通过程序最后的辅助功能执行完成应答程序，使 FIN（G004.3）信号为“1”。FIN（G004.3）信号为“1”后，CNC 将自动撤销 MF（F007.0）输出，M80 完成信号 R532.1 复位至“0”，换刀宏程序中的 M80 指令执行完成，进行下一程序段的处理。

机械手换刀其他动作的 M 代码处理过程与 M80 相似。当机械手换刀动作结束后，执行 M81 指令需要关闭刀库防护门，并使机械手 +180°回转油缸返回到起点，由于机械手 180°回转的齿条和齿轮只有在刀臂伸出后才能啮合，因此，在机械手换刀动作结束、刀臂缩回时接通返回油缸并不会产生机械手的回转运动。

由于 FS-0iD 等 CNC 的普通辅助功能应答，使用的是共同的完成应答信号，因此，PMC 的辅助功能执行完成应答信号 FIN（G004.3），需要包括前述的 T 代码执行完成应答信号 R501.7，以及换刀宏程序中所有的 M 代码完成信号 R532.1 ~ R533.1 等。但调用宏程序 O9001 的 M06 代码由 CNC 操作系统自动处理，M06 既不输出到 PMC，也无须 PMC 程序进行控制和应答。

以上机械手换刀的程序简单、动作清晰，换刀时的刀具松开、夹紧延时可用 CNC 编程指令 G04 方便地调整；机床调试时，还可通过 MDI 方式，单步或连续执行其中的某一或几个动作，程序的调试方便、容易。

第 7 章

主轴控制程序典例

7.1 主轴控制要求

7.1.1 车削加工数控机床

金属切削机床是利用刀具或其他手段（如电蚀、激光等），去除毛坯或被加工零件（简称工件）上的多余金属，使之获得一定形状、尺寸精度和表面质量的加工设备。其中，车削和镗铣等加工，都需要用刀具来实现金属材料的切削加工，因此，必须通过主轴来控制刀具和工件间的相对运动。主轴是金属切削机床的主运动轴。

车削加工机床的加工零件以回转体为主，其切削主运动主要通过工件的旋转实现，因此，主轴的主要作用是带动工件旋转，其主轴控制功能包括速度（工件转速）控制、螺纹切削和位置控制 3 类。

1. 速度控制

速度控制是车削加工数控机床的基本功能。数控车床的车削加工如图 7-1 所示，它需要通过工件旋转实现切削加工。机床加工时的切削速度与工件转速、工件直径有关，其计算式如下：

$$v = \frac{\pi D n}{1000}$$

式中，v 为切削速度（m/min）；n 为工件转速（r/min）；D 为工件直径（mm）。



图 7-1 数控车床的车削加工

为了利用不同材质的刀具，对不同材质的工件，进行金属切削加工，刀具与工件间必须有合适的切削速度。因此，为了使得机床能够用于不同的刀具和工件的加工，数控车床的主



轴必须具备速度控制（调速）功能，调速范围越大，机床的适用范围就越广。

在简易的国产普及型数控机床上，主轴的速度调节有时也可通过传统的机械变速方式实现，在这种机床上，数控系统只需要控制主轴电动机的转向，而无须进行速度控制。

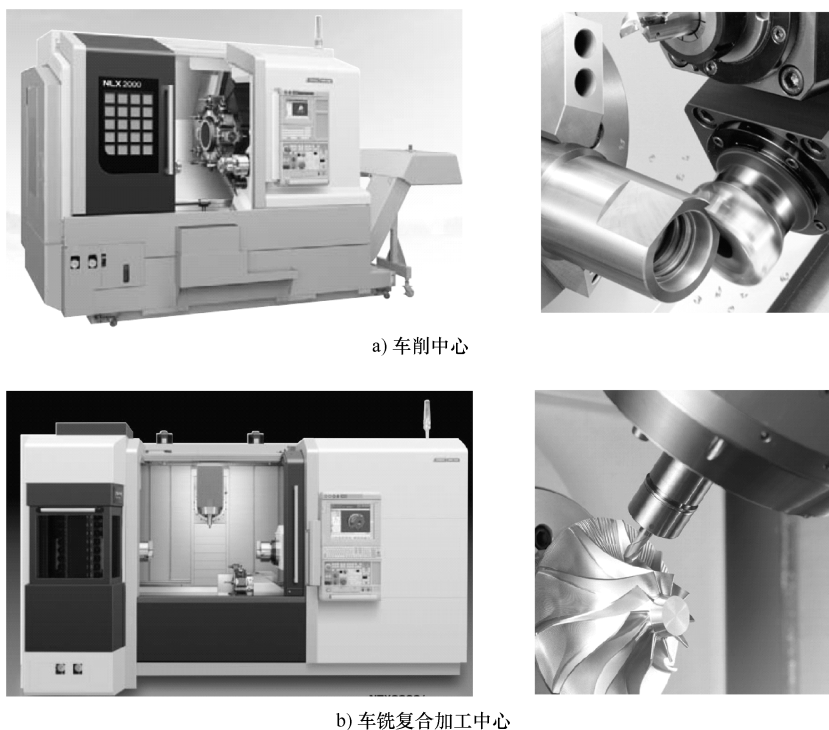
2. 螺纹切削

螺纹加工同样是车削加工数控机床的基本功能。螺纹切削时，机床的刀具进给运动需要和工件旋转运动保持同步，以保证工件旋转 360°、刀具移动距离为 1 个螺距。

一般而言，数控车床的螺纹切削可通过刀具进给轴（通常为 Z 轴）跟随主轴同步运动的方式实现，因此，其主轴需要安装位置（角位移）检测的编码器。螺纹切削加工时，CNC 可直接将主轴的位置检测脉冲，转换为刀具进给轴的进给脉冲，以控制进给运动，实现刀具进给轴和主轴回转角的同步运动。

3. 位置控制

只具有速度控制的数控车床只能实现回转体表面或内孔的圆柱、圆锥、球面、螺纹加工与端面的车削加工，其加工范围受到一定的局限，为此，派生了车削中心、车铣复合加工中心等先进的复合加工数控机床。车削中心、车铣复合加工中心不仅能进行车削，且还可像镗铣加工机床一样，通过图 7-2 所示的刀具旋转，对回转体的侧面或端面进行镗铣加工。



a) 车削中心

b) 车铣复合加工中心

图 7-2　数控车床的位置控制

车削中心、车铣复合加工中心的主轴不仅需要控制工件的转速，满足车削加工的要求，而且它还需要像 CNC 回转坐标轴一样，能够通过图 7-2a 所示的任意角度定位，进行回转体侧面的铣削加工，以及通过图 7-2b 所示的多轴插补，实现回转体的轮廓铣削或加工，故主轴还必须具备位置控制功能。



车削中心、车铣复合加工中心的主轴位置控制又称 Cs 轮廓控制（Cs Contouring Control），或 Cs 轴控制。当主轴进入 Cs 轴控制方式后，它将具有与数控回转轴完全一样的回参考点、任意角度定位、切削进给、插补等功能，且其位置控制精度与其他坐标轴基本相当。因此，车削中心、车铣复合加工中心的主轴驱动电动机必须具有更大的调速范围、更好的低速输出特性和更高的位置精度，而且还需要配备高精度的位置检测编码器。

7.1.2 镗铣加工数控机床

镗铣加工机床是利用刀具旋转实现金属材料切削的加工设备，其切削主运动主要通过刀具的旋转实现，因此，主轴的主要作用是带动刀具旋转，其主轴控制功能同样包括速度（刀具转速）控制、螺纹切削和位置控制 3 类。

1. 速度控制

速度控制同样是镗铣加工数控机床的基本功能。数控镗铣床的铣削加工和孔加工如图 7-3 所示，它需要通过刀具旋转实现加工。加工时的切削速度与刀具转速、刀具直径有关，其计算式如下：

$$v = \frac{\pi D n}{1000}$$

式中，v 为切削速度（m/min）；n 为刀具转速（r/min）；D 为刀具直径（mm）。

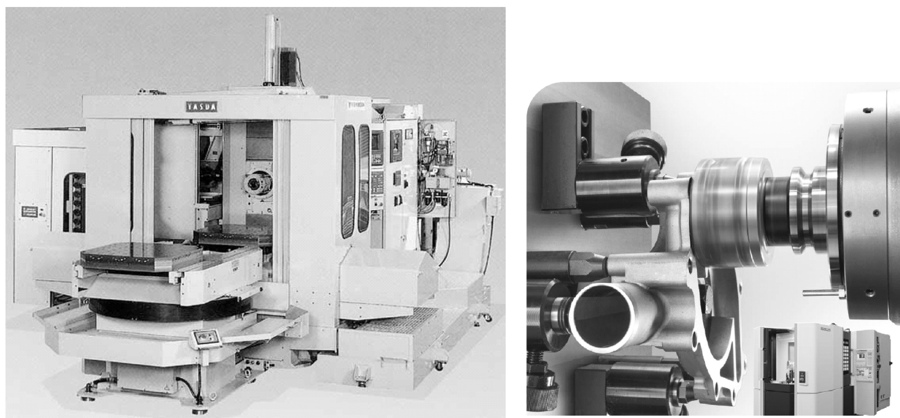


图 7-3　数控镗铣床的铣削加工和孔加工

2. 螺纹切削

镗铣加工数控机床的螺纹切削通常以丝锥“攻螺纹”的方式实现，它有柔性攻螺纹和刚性攻螺纹两种方式。

柔性攻螺纹的丝锥可通过轴向的伸缩补偿导程，因此，加工时只需要保证攻螺纹时的丝锥（主轴）转速和轴向（通常为 Z 轴）进给速度大致匹配，就可实现攻螺纹，故实际上不需要进行主轴和 Z 轴的同步控制。

刚性攻螺纹的丝锥和刀柄为刚性连接，丝锥的轴向进给必须和丝锥的旋转保持同步，以保证丝锥旋转 360°，轴向进给为 1 个螺距。刚性攻螺纹一般也可通过丝锥进给轴（Z 轴）跟随主轴同步运动的方式实现，因此，其主轴同样需要安装位置（角位移）检测的编码器。进行攻螺纹加工时，CNC 可直接将主轴的位置检测脉冲，转换为丝锥进给轴的进给脉冲，



以控制进给运动，实现丝锥进给轴和主轴回转角的同步。

3. 位置控制

镗铣加工数控机床的刀具安装在主轴上，为了传递切削加工转矩，刀具与主轴间一般需要通过图 7-4 所示的键进行啮合。因此，在加工中心等具有刀具自动交换功能的机床上，换刀时必须保证主轴和机械手（或刀库）上的刀具的键，具有相同的位置，这就需要主轴具有在特定角度上准确定位停止的功能，这一功能称为主轴的定向准停（Spindle Orientation）控制功能。

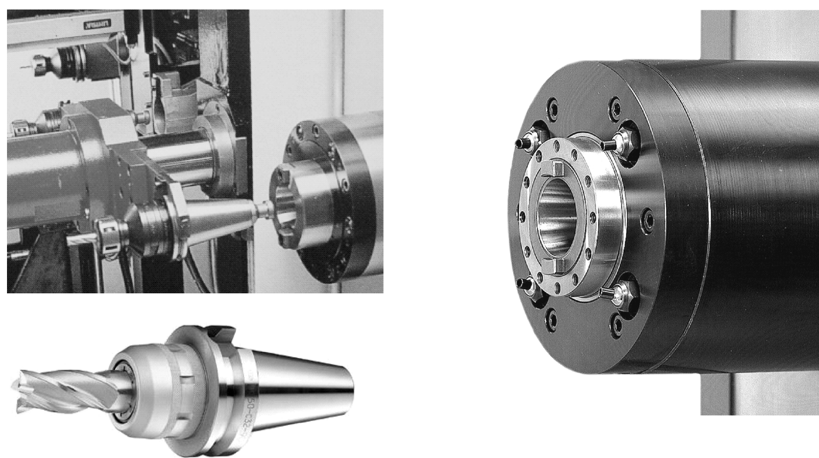


图 7-4　主轴定向准停控制要求

主轴定向准停功能还可用于反向镗孔、精密镗孔等特殊加工。例如，在精密镗孔加工时，为了消除退刀痕，在镗刀加工至孔底面后，可通过主轴定向准停，将刀尖定位到某一方向，然后通过刀尖反方向的平移，使刀尖脱离工件表面，然后退出 *Z* 轴，以避免退刀痕等。

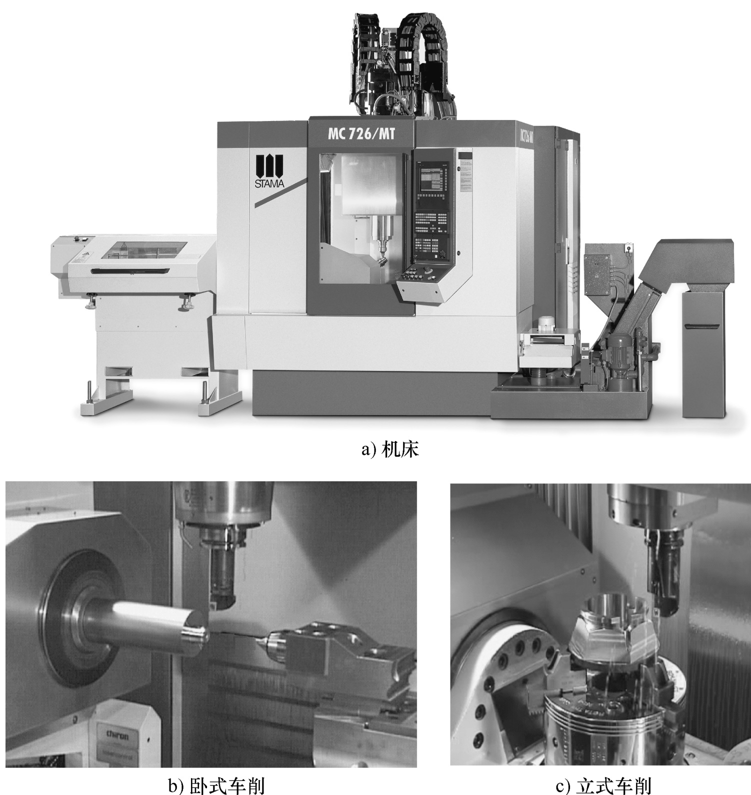
主轴定向准停控制只要求主轴能够停止并保持在某一固定的角度上，它有两种常用的实现方式：一是利用接近开关等传感器检测主轴位置，实现固定位置的定位；二是用编码器检测主轴位置，实现 360°范围内任意位置的定位，它又称主轴定位（Spindle Positioning）控制功能。

在铣车复合机床上，主轴定向准停功能还可用于车削加工。例如，在图 7-5a 所示的铣车复合加工中心上，当机床安装有卧式高速数控转台（*A* 轴）时，当主轴换上车刀，并通过定向准停和锁紧功能固定车刀后，将 *A* 轴切换至高速旋转的速度控制模式，机床便可像卧式数控车床那样，通过 *X*、*Z* 轴的运动，对 *A* 轴上的工件进行图 7-5b 所示的轴类零件外圆、端面等车削加工。如果机床安装有立式高速数控转台（*C* 轴），则可像立式数控车床那样，通过 *C* 轴速度在控制模式的高速旋转，进行图 7-5c 所示的法兰类零件的外圆、端面等车削加工。

7.1.3　模拟主轴和串行主轴

1. 主轴的控制形式

CNC 是为实现刀具运动轨迹控制而研发的控制装置，在早期的全功能 CNC 及当前的大多数国产普及型 CNC 上，主轴控制一般都属于 CNC 的辅助功能，其控制需要通过外部的主



a) 机床

b) 卧式车削

c) 立式车削

图 7-5　铣车复合加工中心

轴驱动器实现。因此，在国产普及型数控机床上，经常采用通用变频器控制普通感应电动机和变频电动机的方案，实现主轴的基本速度控制功能；在国产经济型、普及型数控车床、铣床等设备上，有时甚至直接采用机械变速箱进行变速。

全功能数控机床对主轴的性能要求较高，为了实现主轴的大范围变速及进行定向、定位控制，一般需要采用 CNC 生产厂家配套提供的主轴驱动器。特别是在先进的车削中心、车铣复合加工机床上，主轴不仅要有传统的速度控制功能，而且要求主轴能够像数控回转轴一样，具有回参考点、任意角度定位、切削进给功能，并参与 X、Y、Z 等基本坐标轴的插补运算，进行轮廓加工，即具备 Cs 轴控制功能；这样的主轴已和基本坐标轴一样，成为了完全由 CNC 控制的基本轴。

主轴完全采用机械变速箱变速的机床，CNC 只需通过辅助功能指令 M03/M04/M05，控制电动机的正反转和起/停，无须控制主轴的速度与位置，因此，PMC 程序只要进行辅助功能译码及接触器通断控制，程序设计十分简单，本书不再对此进行介绍。

在需要进行主轴速度和位置控制的机床上，主轴需要配套外部驱动器或采用 CNC 生产厂家提供的串行主轴驱动器。当使用外部驱动器（如变频器等）控制时，为了便于 CNC 和驱动器的连接，CNC 通常需要将加工程序中的指令主轴转速的 S 代码，转换为 DC0～10V 或 DC－10～10V 的模拟量输出，以便直接作为驱动器的速度给定输入，由驱动器控制主轴的转速，这一功能称为 CNC 的主轴模拟量输出功能，简称模拟主轴。如主轴需要进行高精度闭环速度与位置控制，驱动器和 CNC 间需要像坐标轴一样，进行控制命令和速度、位置检



测等数据的交换，这样的数据传输一般通过串行总线进行，故在 FANUC-0iD 等 CNC 上，将其称为串行主轴控制功能，主轴控制使用的是主轴 I/O-Link 总线。

模拟主轴和串行主轴控制的功能有较大的区别，以 FS-0iD 为例，两者的主要区别如表 7-1 所示。

表 7-1　模拟主轴与串行主轴的功能比较表

项　目	控 制 方 式	
	模拟主轴控制	串行主轴控制
FS-0iD 可控制的主轴数	1 轴	2 轴
主轴的参数调整和设定	在主轴驱动器上进行	在 CNC 上进行
主轴起/停和转向控制	利用 CNC 辅助功能和 PMC 控制	利用 CNC 与 PMC 的内部信号控制
主轴转速输出	DC0～10V 或 DC－10～10V 模拟量	串行数字信号
螺纹加工位置编码器	连接到 CNC	连接到驱动器,通过总线传送到 CNC
主轴定向准停	需要驱动器控制	由 CNC 控制
主轴定位	需要驱动器控制	由 CNC 控制
Cs 轴控制	不可以	可以
多主轴控制	不可以	可以
主从同步控制	不可以	可以

2. 模拟主轴控制

模拟主轴是早期进口全功能 CNC 及国产普及型 CNC 的常用功能，它可用于主轴使用外部驱动器控制（非总线控制型）的机床，它可通过 CNC 输出的 S 模拟量，控制驱动器改变主轴转速。

在 CNC 加工程序中，主轴转速指令一般通过 S 代码编程，并有 1 位 S 代码、2 位 S 代码和 4～8 位 S 代码等不同的指令方法。1 位或 2 位 S 代码只能用于有级变速的主轴转速指定；4～8 位 S 代码可直接指令主轴转速。当主轴转速采用 4～8 位 S 代码直接指令时，为了便于用户使用，CNC 可通过 D-A 转换器，将 S 代码转换为 DC0～10V 或 DC－10～10V 的模拟电压输出，以便采用模拟电压控制速度的主轴调速装置连接。CNC 的主轴模拟量输出功能，一般需要选配带 D-A 转换接口的主轴模拟量输出卡。

当主轴使用模拟量输出控制时，机床可根据实际需要，选配通用变频器、直流调速装置或早期模拟量输入控制的交流主轴驱动装置控制主轴转速。如主轴驱动器本身具有定向或定位功能，也可通过 CNC 的辅助功能代码（M19 等），由主轴驱动器来实现主轴的定向准停、定位等简单位置控制功能。

由于数控车床的螺纹车削、镗铣加工机床的刚性攻螺纹等加工，可通过进给轴跟随主轴的同步运动实现，因此，只要主轴安装位置检测编码器，模拟主轴同样可用于螺纹加工。但是，由于 CNC 不能闭环控制主轴转速与位置，因而不能用于 Cs 轴控制。

模拟主轴的速度、位置和转矩调节，加减速控制等均需要通过主轴驱动器实现；主轴的起/停、正/反转和定位控制，也需要通过 CNC 的辅助功能（M 代码）由 PMC 程序输出的开关量信号控制。

3. 串行主轴控制

串行主轴控制是全功能 CNC 的先进功能。一般而言，采用串行主轴驱动器控制时，CNC 不但可向主轴驱动器发送转速、位置、转矩控制指令，而且还能实时检测主轴的速度、位置、转矩，故可对主轴进行闭环速度和位置控制。因此，CNC 可像基本坐标轴一样，控制主轴的速度和位置，实现转速、定向准停、定位、螺纹加工、Cs 轴控制等全部功能，如果需要，还可进行多主轴控制、主从同步控制等。

目前，CNC 和主轴驱动器间的通信一般需要使用 CNC 生产厂家的专用通信协议；进行 Cs 轴控制时，主轴的位置检测信号还需要像基本坐标轴一样连接到伺服总线，因此，串行主轴控制原则上只能选配 CNC 生产厂家提供的主轴驱动器。

多主轴控制、主从同步控制是串行主轴用于现代高速、高精度加工机床的特殊功能，简介如下。

1）多主轴控制。多主轴控制用于图 7-6 所示的双主轴数控车床或多主轴加工中心等高速、高效数控机床，不同的主轴可进行独立的转速、起/停和转向控制及线速度恒定控制、传动级交换功能等功能。



a) 数控车床　　b) 加工中心

图 7-6　多主轴控制机床

多主轴控制属于 CNC 的特殊附加功能，例如，在 FS-0iD 系列产品中，FS-0iMateMD 不能选配多主轴控制功能；FS-0iMD、FS-0iMateTD 最多可控制 2 个主轴；FS-0iTD 单通道最多可控制 3 个主轴，2 通道 CNC 则可实现 3 +1 或 2 +2 主轴控制。多主轴控制的第 1 主轴必须是串行主轴，第 2 主轴可以是串行主轴或模拟主轴；如 CNC 无多通道控制功能，主轴定位、Cs 轴控制一般只能用于第 1 主轴；但螺纹加工和刚性攻螺纹只需要进给轴跟随主轴同步运动，故可用于第 2 和第 3 主轴。

2）主-从同步控制。主-从同步控制用于复杂或大型机床的多主轴驱动，例如，当双主轴数控车床用于长工件加工时，两主轴需要同时夹持同一工件，它们必须同步旋转。主-从同步控制只能用于串行主轴控制，其主主轴可接受 CNC 控制，从主轴的转速与位置只能跟随主主轴同步旋转。

7.2　主轴速度控制程序典例

7.2.1　速度控制要求

速度（转速）控制是任何金属切削机床主轴都需要具备的基本控制功能。除了完全采



用机械变速箱进行变速的低价位普及型数控机床外，不论是模拟主轴还是串行主轴，都需要通过 CNC 控制主轴转速。因此，设计主轴控制 PMC 程序时，必须了解 CNC 的 S 代码处理流程及相关的控制信号。以 FS-0iD 为例，其 S 代码的处理流程及相关接口信号如下。

1. S 代码处理流程

FS-0iD 的主轴速度控制包括了 S 代码二进制输出、倍率调节、S 模拟量或数字量输出、传动级交换、转速指令选择等功能，PMC 程序设计时，需要根据 CNC 的处理流程，通过 PMC 程序的编制，向 CNC 发送正确的控制信号。

以模拟主轴控制为例，CNC 对加工程序的 S 代码指令处理流程如图 7-7 所示，采用串行主轴控制时，无图中的 D-A 转换和增益/偏移调整环节。

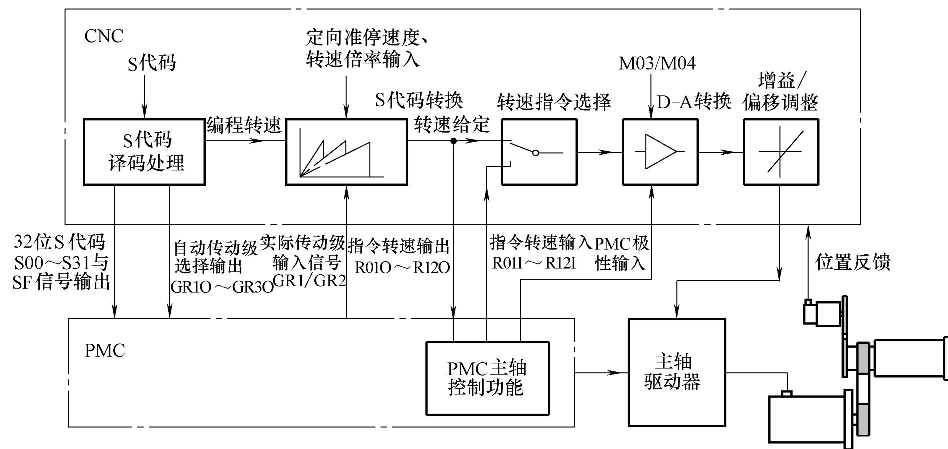


图 7-7　S 代码处理流程

1）CNC 读入加工程序中的 S 代码，将 S 代码（4 ~8 位 10 进制数）转换为 32 位二进制编程转速 S00 ~ S31（F022. 0 ~ F025. 7），并输出到 PMC。

2）经过短暂延时，CNC 向 PMC 发出 S 代码修改信号 SF（F007. 2），如 CNC 选择了 M 型（A、B 或攻螺纹换档）传动级交换功能，CNC 还将同时发送该转速所需要的传动级选择信号 GR1O ~ GR3O（F034. 0 ~ F034. 2）。PMC 程序可根据实际控制需要，进行转速变换、传动级交换（换档）等处理。

3）CNC 根据 S 代码编程转速和来自操作面板的主轴转速倍率输入信号 SOV0 ~ SOV7（G030. 0 ~ G030. 7）、机床实际传动级输入信号 GR1、GR2（G028. 0、G028. 1），计算出经倍率调节、传动级处理后的转速指令值。

4）如 PMC 的主轴停止输入信号 * SSTP（G029. 6）为“1”（允许旋转），则向 PMC 输出 12 位指令转速 R01O ~ R12O 和输出内部转速给定信号；如主轴停止信号为“0”，则封锁指令转速输出和转速给定（输出为 0）。PMC 编程时需要注意的是，CNC 执行主轴停止指令 M05 时，一般不直接撤销或封锁指令转速输出，因此，需要通过 PMC 程序对 M05 的处理，利用主轴驱动器控制主轴停止，或通过 PMC 程序向 CNC 发送 * SSTP 信号，停止主轴。如 CNC 选择了多主轴控制功能，则第 1 ~3 主轴可使用独立的主轴停止信号 * SSTP1 ~ * SSTP3（G027. 3 ~ G027. 5），* SSTP1 ~ * SSTP3 仅对多主轴控制有效。

5）执行 3）、4）时，如来自 PMC 的主轴定向准停信号 SOR（G029. 5）为“1”，且

＊SSTP（G029.6）为“0”，则指令转速输出无效，CNC 将自动选择参数设定的主轴定向准停转速和转向进行输出。

6）CNC 向 PMC 发送经以上倍率、传动级、定向准停等处理后的 12 位二进制转速给定信号 R01O～R12O（F036.0～F037.3）。

7）如需要，PMC 程序可将来自 CNC 的 12 位二进制转速给定值 R01O～R12O 进行变换或其他处理，并将处理后的转速给定值以 12 位二进制的形式，通过 PMC→CNC 的信号 R01I～R12I（G032.0～G033.3）回送到 CNC。同时，利用 PMC 的转速给定选择信号 SIND（G033.7），选择 CNC 转速给定（G033.7 = 0）或 PMC 的转速信号 R01I～R12I（G033.7 = 1），作为 CNC 的转速指令输出。

8）CNC 根据 PMC 输出的转向选择信号 SSIN（G033.6），设定转速指令输出的极性，如 SSIN（G033.6）=“0”，转速给定的极性决定于加工程序中的 M03/M04 状态；如 SSIN（G033.6）=“1”，则需要 PMC 程序向 CNC 发送转向信号 SGN（G033.5）。

9）对于主轴模拟量输出，CNC 还可根据参数设定，进行漂移、增益的调整，然后通过 D-A 转换，输出 DC-10～10V 模拟量；对于串行主轴控制，则直接输出数字转速给定。

2. 基本接口信号

FS-0iD 与主轴速度控制相关的主要 PMC 接口信号如表 7-2 所示（不包括主轴位置控制信号），表中的信号对主轴模拟量输出和串行主轴控制均有效。

表 7-2　主轴基本控制信号表

地　址	代号	作　　用	信号说明
G008.4/X0008.4	＊ESP	急停	1:正常工作;0:CNC 急停
G008.5	＊SP	进给保持	1:正常工作;0:进给保持
G008.6/ G008.7	RRW/ERS	CNC 复位	0:正常工作;1:CNC 复位
G028.1/G028.2	GR1/GR2	实际传动级输入	00:低速;01:中速;10:准高速;11:高速
G029.4	SAR	主轴转速到达	1:实际转速与指令转速同;0:未到达
G029.5	SOR	主轴定向或换档	1:输出定向或换档转速;0:S 编程转速
G029.6	＊SSTP	主轴停止	1:输出指令转速;0:转速输出为 0
G030.0～G030.7	SOV0～7	主轴转速倍率	8 位二进制输入
G032.0～G033.3	R01I～R12I	PMC 指令转速	来自 PMC 的主轴转速给定
G033.7	SIND	主轴转速选择	0:CNC 输出;1:PMC 输入
G033.6	SSIN	主轴转向选择	1:PMC 输入;0:CNC 指令
G033.5	SGN	PMC 主轴转向	PMC 转向指定,1:负;0:正
F001.4	ENB	主轴使能	1:输出转速不为 0;0:输出转速为 0
F002.2	CSS	线速度恒定控制	1:线速度恒定控制生效;0:无效
F007.2	SF	S 修改信号	1:S 指令更改;0:S 指令不变
F022.0～F025.7	S00～S31	S 指令输出	32 位二进制编码的 S 指令输出
F034.0～F034.2	GR1O～GR3O	传动级选择	CNC 传动级选择信号输出
F035.0	SPAL	转速波动报警	1:转速波动超过允许范围;0:正常
F036.0～F037.3	R01O～R12O	指令转速输出	12 位二进制指令转速输出
F040.0～F041.7	AR0～15	实际转速输出	16 位二进制实际主轴转速输出

3. 串行主轴控制信号

当 CNC 使用串行主轴控制功能时，PMC 与主轴驱动器间可以直接通过总线传输控制信号，并可使用多主轴控制功能，以双主轴控制为例，PMC 常用的主轴速度控制与状态检测信号如表 7-3 所示（不包括主轴位置控制信号）。



表 7-3　串行主轴转速控制 PMC 信号表

地　址	代号①	作　　用	信号说明
G027.0/ G027.1	SWS1/ SWS2	第 1/2 串行主轴速度控制	仅多主轴控制有效
G027.3/ G027.4	*SSTP1/ *SSTP2	第 1/2 串行主轴停止	仅多主轴控制有效
G032.0 ~ G033.3	R01I ~ R12I	PMC 指令转速输入	第 1 主轴 12 位二进制指令转速输入
G034.0 ~ G035.3	R01I2 ~ R12I2	PMC 指令转速输入	第 2 主轴 12 位二进制指令转速输入
G033.7/ G035.7	SIND/ SIND2	第 1/2 主轴转速选择	1:PMC 输入;0:CNC 输出
G033.6/ G035.6	SSIN/ SSIN2	第 1/2 主轴转向选择	1:PMC 输入;0:CNC 指令
G033.5/ G035.5	SGN/ SGN2	第 1/2 主轴转向	PMC 转向指定,1:负;0:正
G070.0	TLMLA	第 1 主轴转矩限制	00:无效;01/11:PRM4025 的 50%; 10:PRM4025 的 100%
G070.1	TLMHA		
G070.2	CTH2A	第 1 主轴实际 传动级输入	00:1 档;01:2 档; 10:3 档;11:4 档
G070.3	CTH1A		
G070.4	SRVA	第 1 主轴转向选择	00/11:主轴停止;01:正转;10:反转
G070.5	SFRA		
G070.7	MRDYA	第 1 主轴驱动使能	1:主轴驱动使能
G071.1	*ESPA	第 1 主轴急停	1:正常工作;0:急停
G071.4	SOCNA	第 1 主轴软启动	1:有效;0:无效
G072.4	OVRA	第 1 主轴倍率调节电位器	1:有效;0:无效
G074.0/G074.1	TLML/TLMHB	第 2 主轴转矩限制	同第 1 主轴
G074.2/G074.3	CTH2/CTH1B	第 2 主轴实际传动级输入	同第 1 主轴
G074.4/G074.5	SRV/SFRB	第 2 主轴转向选择	同第 1 主轴
G074.7	MRDYB	第 2 主轴驱动使能	1:主轴驱动使能
G075.1	*ESPB	第 2 主轴急停	1:正常工作;0:急停
G075.4	SOCNB	第 2 主轴软启动	1:有效;0:无效
G076.4	OVRB	第 2 主轴倍率调节电位器	1:有效;0:无效
F045.0	ALMA	第 1 主轴报警	1:报警;0:正常
F045.1	SSTA	第 1 主轴转速为 0	1:转速为 0;0:转速不为 0
F045.2	SDTA	第 1 主轴转速到达	1:转速到达规定值;0:未到达
F045.3	SARA	第 1 主轴转速一致	1:实际转速与指令同;0:不同
F045.4/F045.5	LDT1/LDT2A	第 1 主轴负载检测信号 1/2	1:到达设定值 1/2;0:未到达
F045.6	TLMA	第 1 主轴转矩限制	1:转矩限制中;0:转矩限制无效
F049.0	ALMB	第 2 主轴报警	1:报警;0:正常
F049.1	SSTB	第 2 主轴转速为 0	1:转速为 0;0:转速不为 0
F049.2	SDTB	第 2 主轴转速到达	1:转速到达规定值;0:未到达
F049.3	SARB	第 2 主轴转速一致	1:实际转速与指令同;0:不同
F049.4/F049.5	LDT1/LDT2B	第 2 主轴负载检测信号 1/2	1:到达设定值 1/2;0:未到达
F049.6	TLMB	第 2 主轴转矩限制	1:转矩限制中;0:转矩限制无效

① 代号后缀“1”或“A”，为第 1 主轴信号；后缀“2”或“B”，为第 2 主轴信号。

7.2.2　模拟主轴速度控制程序

1. 程序设计要求

CNC 选择模拟主轴控制功能，主轴驱动器可由用户自由选择，如采用通用变频器、模拟量输入控制的交流主轴驱动装置、直流调速装置等，主轴的速度与位置通过外部主轴驱动器实现。因此，对于仅需要控制主轴转速的机床，PMC 程序只需要将 CNC 加工程序中的主轴控制指令 M03/M04/M05，转换为驱动器的正转/反转及起动/停止控制信号。

FS-0iD 等 CNC 与模拟主轴控制相关的主要 PMC-CNC 接口信号，及假设的主轴驱动器控制信号的 I/O 地址如表 7-4 所示。表中的主轴驱动器控制信号的 I/O 地址可根据实际机床的 I/O 配置改变。

表 7-4　模拟主轴速度控制信号 I/O 地址表

代 号	名　　称	类 别	PMC 地址	备　注
DEN	分配结束	CNC-PMC 接口信号输入	F001.3	“1”坐标轴运动结束
ENB	主轴使能	CNC-PMC 接口信号输入	F001.4	1:主轴转速输出允许
MF	M 代码选通	CNC-PMC 接口信号输入	F007.0	“1”M 代码输出有效
M00 ~ M31	M 代码	CNC-PMC 接口信号输入	F010 ~ F013	32 位二进制 M 代码
P1	主轴停止	主轴驱动器信号输入	X16.0	参考地址
P2	主轴转速到达	主轴驱动器信号输入	X16.1	参考地址
P3	主驱动报警	主轴驱动器信号输入	X16.2	参考地址
FIN	辅助功能结束	CNC-PMC 接口信号输出	G004.3	M/S/T/B 执行完成
SAR	主轴转速到达	CNC-PMC 接口信号输出	G029.4	1:实际转速与指令转速同
* SSTP	主轴停止	CNC-PMC 接口信号输出	G029.6	1:S 转速输出;0:输出为 0
SIND	指令转速选择	CNC-PMC 接口信号输出	G033.7	0:CNC 输出;1:PMC 输入
SSIN	主轴转向选择	CNC-PMC 接口信号输出	G033.6	0:CNC 指令;1:PMC 输入
KM30	主轴驱动器 ON	主电源通断控制输出	Y8.0	参考地址
KA31	主轴正转	主轴驱动器控制输出	Y8.1	参考地址
KA32	主轴反转	主轴驱动器控制输出	Y8.2	参考地址

2. PMC 程序

根据以上要求设计的模拟主轴的速度控制 PMC 程序如图 7-8 所示，程序一般由指令译码、驱动器控制、完成应答等部分组成。

（1）指令译码

指令译码可通过二进制译码指令 DECB（SUB25）实现，它可将加工程序中的 M03 ~ M10 代码，依次转换为结果寄存器 R520.0 ~ R520.7 上的二进制位信号，有关 DECB 指令的详细说明可参见第 6 章。因此，当执行 M03 或 M04 指令时，对应主轴正反转控制信号 R300.1 或 R300.2 将为“1”；执行 M05 时，R300.1、R300.2 均为“0”。

（2）驱动器控制

通常而言，对于通用变频器等外部主轴驱动器，其控制主要包括主电源接触器通断（主驱动 ON）、正/反转信号输入等。图 7-8 所示的程序中，当机床不为急停状态（X008.4 = 1）及主轴起动的其他条件满足（R300.0 = 1）时，驱动器的主电源输入接触器控制信号 Y8.0 便可自动接通、起动驱动器。

G029.6 为 PMC 输出到 CNC 的主轴停止信号 * SSTP，用于主轴模拟量输出控制。程序中的 G029.6 在驱动器起动、驱动器无报警（X16.2 = 0）、M03 或 M04 生效后才能为“1”，因此，可通过 M05 指令撤销 CNC 的主轴模拟量输出。

程序中的 G033.6、G033.7 为 CNC/PMC 转速、转向控制切换信号，不使用 PMC 控制主轴模拟量输出时，可直接将其置“0”。

Y8.1、Y8.2 为 PMC 输出到主轴驱动器的正反转控制信号，当 M03 或 M04 指令有效时，对应的 Y8.1 或 Y8.2 输出“1”；执行 M05 指令时，Y8.1 与 Y8.2 同时为“0”，主轴停止。

（3）完成应答

一般而言，M03/M04 指令应在主轴正反转加减速过程结束、转速到达指令值后才真正完成；而 M05 指令则应在主轴停止、转速为 0 时才真正完成。但是，由于主轴的正反转、起停存在加减速过程，而驱动器的主轴转速到达信号 X16.1 和停止信号 X16.0 输出均有一定的检测范围。因此，当使用驱动器的转速到达信号、停止信号作为 M03/M04/M05 执行完成应答时，一般需要在 M03/M04/M05 执行后，延时 0.5 ~ 1s 检测主轴转速到达或停止信



号；如果机床对主轴控制的要求不高，也可直接以延时信号 R301. 1 替代应答信号 R301. 2。

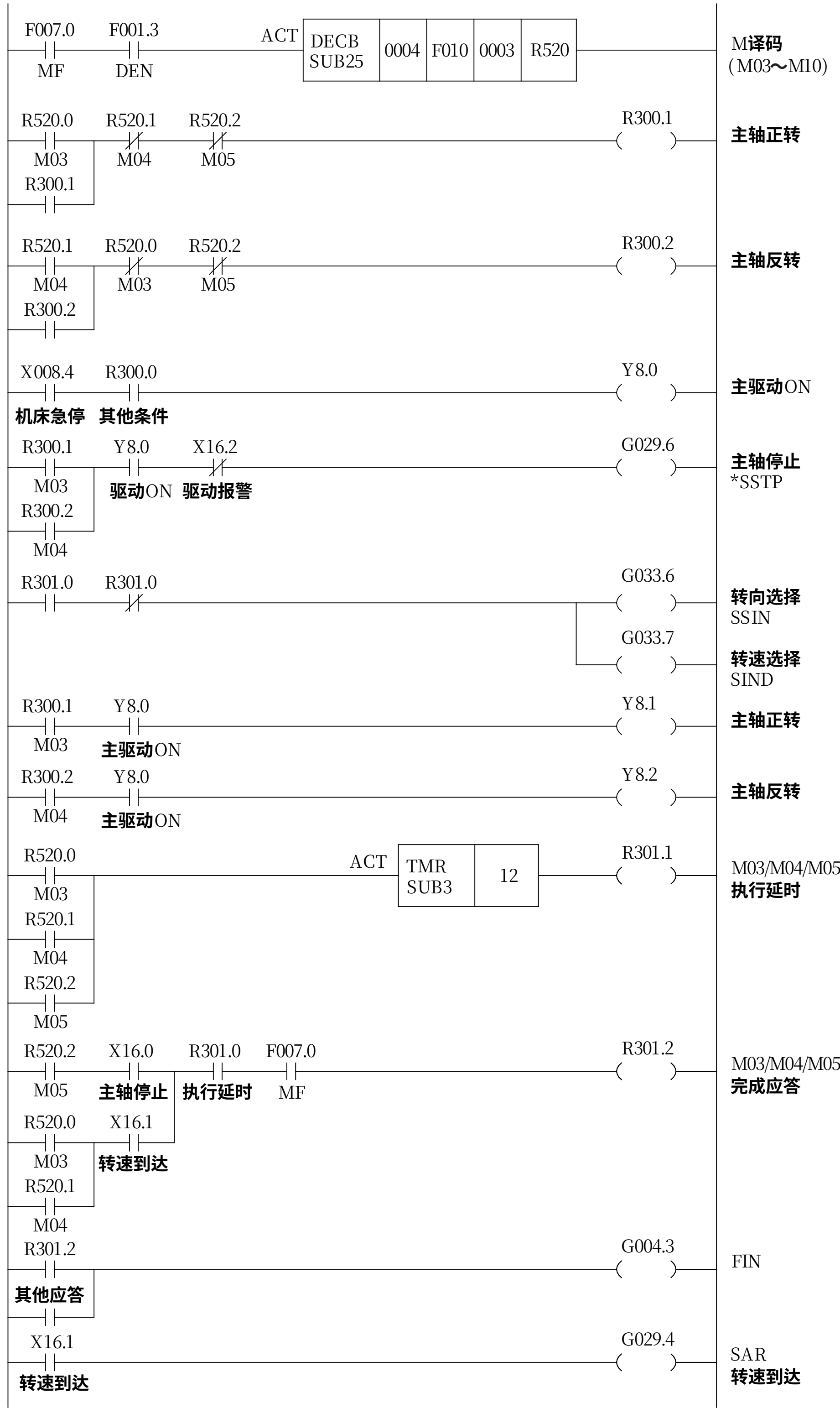


图 7-8　模拟主轴速度控制程序

CNC 的速度到达信号 G029.4 用于切削加工程序段的启动互锁，它通常可直接使用驱动器的转速到达信号控制。

7.2.3 串行主轴速度控制程序

1. 程序设计要求

采用串行主轴控制的 CNC，PMC 和主轴驱动器间的信号传输可直接通过串行总线、利用 PMC-CNC 的接口进行，因此，PMC 程序设计时需要将 CNC 加工程序中的主轴控制指令 M03/M04/M05，转换为串行主轴的正转/反转及起动/停止控制信号。

FS-0iD 等 CNC 与串行主轴速度控制相关的主要 PMC-CNC 接口信号的 I/O 地址如表 7-5 所示，所有 I/O 信号均为 PMC-CNC 内部信号。

表 7-5 串行主轴速度控制信号 I/O 地址表

代号①	名称	类别	PMC 地址	备注
DEN	分配结束	CNC-PMC 接口信号输入	F001.3	“1”坐标轴运动结束
ENB	主轴使能	CNC-PMC 接口信号输入	F001.4	1:主轴转速输出允许
MF	M 代码选通	CNC-PMC 接口信号输入	F007.0	“1”M 代码输出有效
M00 ~ M31	M 代码	CNC-PMC 接口信号输入	F010 ~ F013	32 位二进制 M 代码
ALMA	主轴报警	串行主轴状态信号输入	F045.0	1:报警;0:正常
SSTA	主轴停止	串行主轴状态信号输入	F045.1	1:主轴转速为 0
SARA	主轴转速到达	串行主轴状态信号输入	F045.3	1:主轴转速与指令转速同
FIN	辅助功能结束	CNC-PMC 接口信号输出	G004.3	M/S/T/B 执行完成
SAR	主轴转速到达	CNC-PMC 接口信号输出	G029.4	1:实际转速与指令转速同
*SSTP	主轴停止	CNC-PMC 接口信号输出	G029.6	1:S 转速输出;0:输出为 0
SIND	指令转速选择	CNC-PMC 接口信号输出	G033.7	0:CNC 输出;1:PMC 输入
SSIN	主轴转向选择	CNC-PMC 接口信号输出	G033.6	0:CNC 指令;1:PMC 输入
SRVA	主轴正转	串行主轴控制信号输出	G070.4	00/11:主轴停止;01:正转;10:反转
SFRA	主轴反转	串行主轴控制信号输出	G070.5	
MRDYA	主轴驱动使能	串行主轴控制信号输出	G070.7	1:主轴驱动使能
*ESPA	主轴急停	串行主轴控制信号输出	G071.1	0:主轴急停

① 代号后缀“A”，为第 1 主轴信号。

2. PMC 程序

串行主轴的速度控制 PMC 程序如图 7-9 所示，程序设计的基本思路与模拟主轴相同。但是，由于串行主轴驱动器的控制信号、状态信号可直接通过 CNC-PMC 的接口传输，因此，模拟主轴控制时的主轴驱动器起动输出 Y8.0，需要以 CNC-PMC 接口信号串行主轴急停*ESPA（G071.1）及主轴驱动使能 MRDYA（G070.7）替代；正/反转输出 Y8.1/Y8.2，需要以串行主轴正反转接口信号 SRVA（G070.4）/SFRA（G070.5）替代。同样，模拟主轴控制时的驱动器报警输入信号 X16.2，需要以串行主轴报警接口信号 ALMA（F045.0）替代；主轴停止输入信号 X16.0，需要以串行主轴停止接口信号 SSTA（F045.1）替代；转速到达输入信号 X16.1，需要以串行主轴转速到达接口信号 SARA（F045.3）替代；其余均相同。



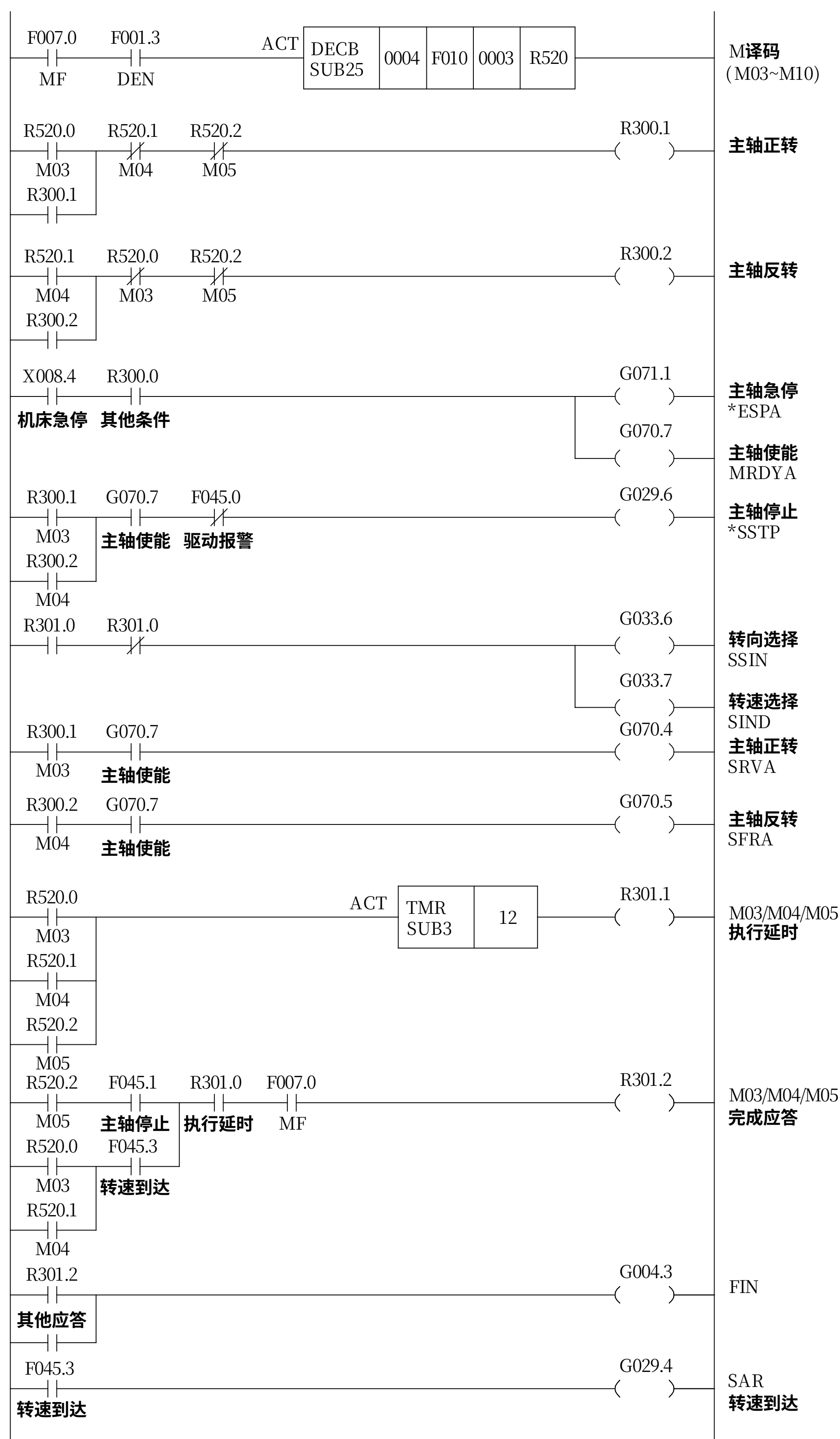


图 7-9　串行主轴速度控制程序



7.3 传动级交换程序典例

7.3.1 功能说明

1. 功能简介

CNC 的主轴传动级交换简称主轴换档，功能主要用于带机械变速装置的主传动系统，它可根据主电动机和主轴的实际传动比，自动调整主电动机转速，使主轴转速能够和加工程序中的 S 代码指令保持一致。

在通用型数控车床、铣床及加工中心上，大直径工件的车削、大规格铣刀的铣削、大规格螺纹的攻螺纹等加工，均要求机床主轴具有低速大扭矩输出特性。另外，由于金属切削机床单位时间能切除的材料体积和主轴功率成正比，为保证机床的加工效率，就要求主轴在不同转速下的输出功率能保持恒定，即具有恒功率输出特性。但是，由于电动机的输出转矩和功率受到结构、额定电流的限制，它在额定转速以下的调速特性，一般为额定转矩输出；在转速高于额定转速时，为额定功率输出。因此，主轴需要通过图 7-10 所示的机械变速箱，利用齿轮变速的方法，提高低速转矩和扩大恒功率调速范围。

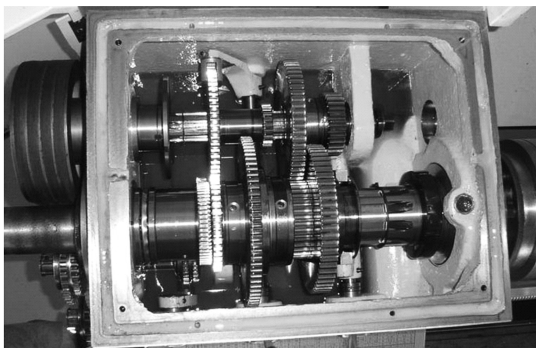


图 7-10　主轴机械变速箱

例如，对于额定输出为 22kW/140N · m、额定转速为 1500r/min、最高转速为 6000r/min 的主电动机，在额定转速以下区域的输出转矩为 140N · m，实际的恒功率调速范围只有 4 倍（1500 ~6000r/min）。但如主轴采用 1:1 和 1:4 两级机械减速，便可获得图 7-11 所示的转矩和功率输出特性，两者组合后，主轴在 375r/min 以下区域的输出转矩可达额定输出转矩的 4 倍，375 ~1500r/min 区域的输出转矩也将显著提高；而主轴的恒功率调速范围也将由 4 倍扩大到 16 倍（375 ~6000r/min）；而主轴最高转速仍可达到 6000r/min 不变。

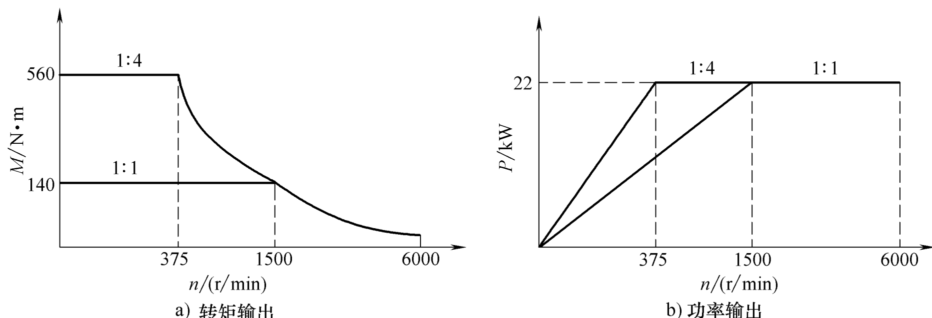


图 7-11　主轴变速输出特性

主轴增加机械变速后，在不同的传动比下，同样的主轴转速将对应不同的电动机转速。例如，对于图 7-11 所示的主轴传动系统，当主轴转速为 1200r/min 时，如机械传动比为 1:1，



主电动机转速应为 1200r/min；如传动比为 1:4，则主电动机转速应为 4800r/min 等。这就要求主轴驱动系统能够根据机械传动比，自动改变主电动机的转速。

2. 实现形式

为了便于数控机床的编程，一般规定 CNC 加工程序中的 S 代码应直接指定主轴的转速；而 CNC 的主轴转速输出（模拟量或数字量）通常就是主轴驱动器的速度给定输入，因此，对于同一 S 指令，在不同传动比下，能够改变主电动机转速的方法有两种：一是保持驱动器给定输入和电动机转速间的关系不变，通过改变 CNC 的主轴转速输出改变电动机转速，这一功能称为 CNC 主轴传动级交换功能；二是保持 S 代码和 CNC 主轴转速输出的关系不变，通过驱动器参数改变电动机转速，这一功能称为驱动器传动级交换功能。在 FS-0iD 等 CNC 上，模拟主轴控制一般使用前者，串行主轴一般使用后者；如机床的变速档较多，两者也可同时使用。

模拟主轴使用 CNC 传动级交换功能时，由于驱动器的速度给定输入与电动机转速存在线性关系，因此，传动级变换时，实际上只需要根据机械传动比改变 CNC 的主轴转速输出值。例如，对于图 7-12 所示、10V 模拟量输入对应电动机转速为 6000 r/min 的驱动器，当传动比为 1:1 时，指令 S1200 的 CNC 主轴模拟量输出应为 10V × 1200/6000 = 2V，主电动机转速为 1200r/min；而在传动比为 1:4 时，指令 S1200 所对应的 CNC 主轴模拟量输出应为 2V × 4 = 8V，主电动机转速为 6000r/min × 8/10 = 4800r/min，从而保证了此时的主轴转速仍为 1200r/min。

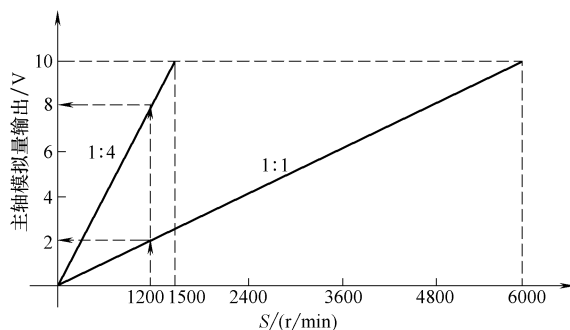


图 7-12 传动级交换功能

3. T 型和 M 型换档

FS-0iD 的 CNC 传动级交换控制有 T 型换档和 M 型换档两类，其中，M 型换档又有 A 型、B 型和攻螺纹型之分。

采用 T 型换档控制时，主轴的变速档可由操作者自由选择，CNC 将根据来自 PMC 程序输出的主轴实际传动级信号 GR1/GR2（G028.1/G028.2），自动改变 CNC 的转速输出值。但是，CNC 不能根据加工程序中的 S 代码，自动选择所需要的传动级，故不能向 PMC 输出传动级选择信号 GR1O ~ GR3O（F034.0 ~ F034.2）。

采用 M 型换档控制时，主轴的变速档由 CNC 自动选择，CNC 可根据加工程序中的 S 指令，自动判断所需要的变速档，并输出传动级选择信号 GR1O ~ GR3O（F034.0 ~ F034.2），PMC 程序应根据这一信号，进行传动级交换。交换完成后，由 PMC 程序返回主轴实际传动级信号 GR1/GR2（G028.1/G028.2），使 CNC 改变主轴转速输出值。

总体而言，T 型换档属于操作者自由换档，它可根据实际加工需要，利用 M 指令等方式随时进行换档，CNC 总是可以根据机床的实际传动比，输出对应的转速给定值；因此，即使对于相同的 S 代码，由于变速档的不同，CNC 的主轴转速输出值也可能不同。而 M 型换档是由 CNC 强制选择的换挡方式，CNC 将根据 S 代码编程的转速值，决定所需的传动级，强制机床进行换档；因此，每一 S 代码只能有唯一的变速档和主轴转速输出值。

T 型换档和 M 型换档应根据 CNC 的规格选择，FS-0iD 系列产品可使用的 CNC 传动级交换功能及主要区别如表 7-6 所示。

表 7-6　传动级交换功能与选择

换档方式	T 型	M 型		
		A 型	B 型	攻螺纹型
FS-0iTD/0iMateTD	●	×	×	×
FS-0iMD/0iMateMD	●	●	●	●
可以使用的档位数	4	3	3	3
CNC 传动级选择信号输出	×	●	●	●
档位切换	自由	CNC 强制	CNC 强制	CNC 强制
档位切换转速	×	电动机最高转速	参数设定	参数设定
同一 S 使用不同档位	●	×	×	×

注：●：可以使用；×：不能使用。

7.3.2　T 型换档程序典例

1. 换档特性

T 型换档是一种传统的换档方式，可用于 FANUC 的所有 CNC。T 型换档一般可通过 CNC 的辅助功能指令 M41 ~ M44，由操作者控制换档。传动级交换完成后，PMC 程序需要向 CNC 发送现行传动级信号 GR1/GR2（G028.1/G028.2）；CNC 便可根据实际传动级及 CNC 参数 PRM3741 ~ PRM3744 的设定，输出与实际传动级对应的转速指令值。

T 型换档的特性如图 7-13 所示，信号 GR1/GR2（G028.1/G028.2）与档位的关系如表 7-7 所示。

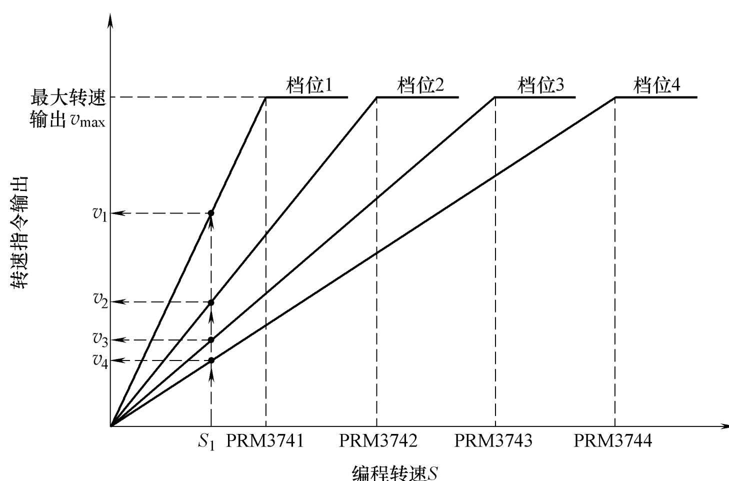


图 7-13　T 型换档特性

表 7-7　GR1/GR2 与档位的关系表

信号	档位 1	档位 2	档位 3	档位 4
GR1	0	1	0	1
GR2	0	0	1	1
主轴最高转速	PRM3741	PRM3742	PRM3743	PRM3744

T 型换档不同档位的主轴最高转速需要通过 CNC 参数 PRM3741 ~ PRM3744 设定，设定



值是该档位 CNC 最大转速输出（最大模拟电压 DC10V 或 14 位串行总线的最大数字量 16383）所对应的 S 代码编程转速值。例如，当设定 PRM3741 = 1000、PRM3742 = 2000 时，如来自 PMC 程序的信号 G028.2/G028.1（GR2/GR1）= 00，则执行加工程序中 S1000 指令时，CNC 将输出 DC10V 模拟量或数字量 16383；如来自 PMC 程序的信号 G028.2/G028.1（GR2/GR1）= 01，CNC 则输出 DC5V 模拟量或数字量 8192 等。

T 型换档最大可用于 4 级变速控制，当实际变速档小于 4 级时，应使用较低的档位，并将未使用档位的主轴最高转速设定为 99999。

2. 换档抖动

数控机床的主轴机械变速通常利用滑移齿轮或电磁离合器实现，为了保证滑移齿轮或电磁离合器能可靠啮合，传动级交换时主电动机一般需要进行低速、间隙正反转的“换档抖动”动作。换档抖动一般使用图 7-14 所示的控制时序。

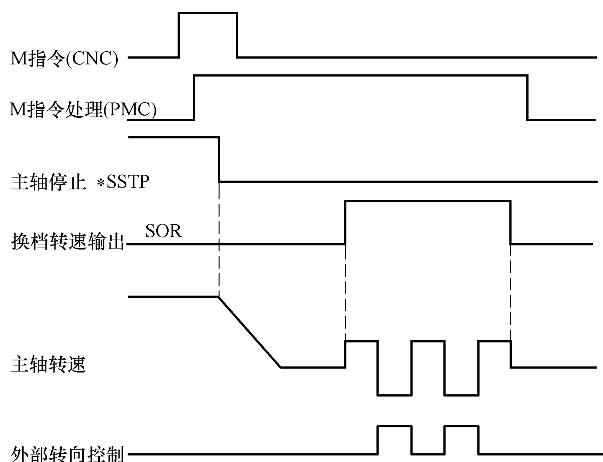


图 7-14　主轴换档控制时序

1）执行换档指令 M41 ~ M44，CNC 输出辅助功能代码。

2）通过 PMC 程序，将主轴停止信号 * SSTP 置为“0”，使 S 代码主轴转速输出为 0，电动机减速停止。

3）主轴停止后，利用 PMC 程序，向 CNC 发送 SOR（G029.5），使 CNC 的主轴转速输出切换为参数 PRM3732 设定的固定值（低速），SOR 信号和参数 PRM3732 设定的转速为主轴定向、换档速度通用。换档转速输出后，利用 PMC 程序向驱动器输出交替变化的正反转控制信号，控制主电动机进行间隙正反转（换档抖动）。

换档抖动也可通过 PMC 程序的控制，直接通过主轴驱动器（如变频器等）产生。例如，当需要进行主轴换档时，可通过 PMC 程序，向主轴驱动器输出低速（低频）选择信号和间隙正反转信号，直接由变频器控制主电动机进行低速抖动，其换档抖动转速（频率）可由驱动器参数进行设定。

4）通过 PMC 程序，控制电磁阀或离合器，执行换档动作。

5）换档完成后，将信号 SOR 重新置“0”，CNC 撤销换档速度输出；同时，PMC 向 CNC 发送现行传动级信号 G028.2/G028.1（GR2/GR1），并结束辅助功能执行。

6）结束辅助指令执行。

3. PMC 地址

以模拟主轴高/低 2 级变速的主轴驱动系统为例，FS-0iD 等 CNC 与 T 型换档有关的主要 PMC-CNC 接口信号及根据机械变速要求假设的机床 I/O 信号地址如表 7-8 所示。表中的传动级检测开关的输入地址及电磁阀输出地址可根据实际机床的 I/O 配置改变。

表 7-8　T 型换档控制信号 I/O 地址一览表

代 号	名　　称	类 别	PMC 地址	备　注
DEN	分配结束	CNC-PMC 接口信号输入	F001.3	"1"坐标轴运动结束
ENB	主轴使能	CNC-PMC 接口信号输入	F001.4	1：主轴转速输出允许
MF	M 代码选通	CNC-PMC 接口信号输入	F007.0	"1"M 代码输出有效
M00 ~ M31	M 代码	CNC-PMC 接口信号输入	F010 ~ F013	32 位二进制 M 代码
P1	主轴停止	主轴驱动器信号输入	X16.0	参考地址
P2	主轴转速到达	主轴驱动器信号输入	X16.1	参考地址
P3	主驱动报警	主轴驱动器信号输入	X16.2	参考地址
S31	低速档到位	机床信号输入	X16.3	参考地址
S32	高速档到位	机床信号输入	X16.4	参考地址
FIN	辅助功能结束	CNC-PMC 接口信号输出	G004.3	M/S/T/B 执行完成
GR2/GR1	实际传动级输入	CNC-PMC 接口信号输出	G028.2/G28.1	00/01/10/11：低/中/准高/高速
SAR	主轴转速到达	CNC-PMC 接口信号输出	G029.4	1：实际转速与指令转速同
SOR	定向或换档转速输出	CNC-PMC 接口信号输出	G029.5	1：输出定向或换档转速；0：输出 S 代码编程转速
*SSTP	主轴停止	CNC-PMC 接口信号输出	G029.6	1：S 转速输出；0：输出为 0
SIND	指令转速选择	CNC-PMC 接口信号输出	G033.7	0：CNC 输出；1：PMC 输入
SSIN	主轴转向选择	CNC-PMC 接口信号输出	G033.6	0：CNC 指令；1：PMC 输入
KM30	主轴驱动器 ON	主电源通断控制输出	Y8.0	参考地址
KA31	主轴正转	主轴驱动器控制输出	Y8.1	参考地址
KA32	主轴反转	主轴驱动器控制输出	Y8.2	参考地址
Y31	主轴换低速档	机床输出	Y8.3	参考地址
Y32	主轴换高速档	机床输出	Y8.4	参考地址

4. PMC 程序

使用 T 型换档的主轴控制 PMC 程序一般由指令译码、正反转控制、传动级交换控制等部分组成，程序典例如下。

（1）指令译码

指令译码程序如图 7-15 所示。程序包括了主轴正反转及停止控制的 M03、M04、M05 指令译码及 T 型换档控制的 M41、M42 指令译码程序，二进制译码指令 DECB（SUB25），指令的详细说明可参见第 6 章。

通过指令译码程序，CNC 在执行 M03 或 M04 指令时，内部继电器 R300.1 或 R300.2 将为"1"；执行 M41 或 M42 指令时，内部继电器 R300.3 或 R300.4 将为"1"，此时，如机床上的实际档位与 M41/M42 指令档位不符，将产生换档启动信号 R300.5；如两者一致，则通过后述的程序直接产生 M41/M42 完成信号，结束指令执行。

程序中的定时器 T10、T11 用于换档抖动的间隙正反转控制。CNC 输出换档转速时，信号 SOR（G029.5）为"1"，利用定时器 T10、T11 可在 R300.6 上获得"0"状态保持时间为 1s、"1"状态保持时间为 0.6s 的脉冲信号，以控制主轴间隙正反转，保证齿轮可靠啮合。为了保证抖动能够达到齿轮错位的目的，定时器 T10、T11 的延时设定应为不同值。



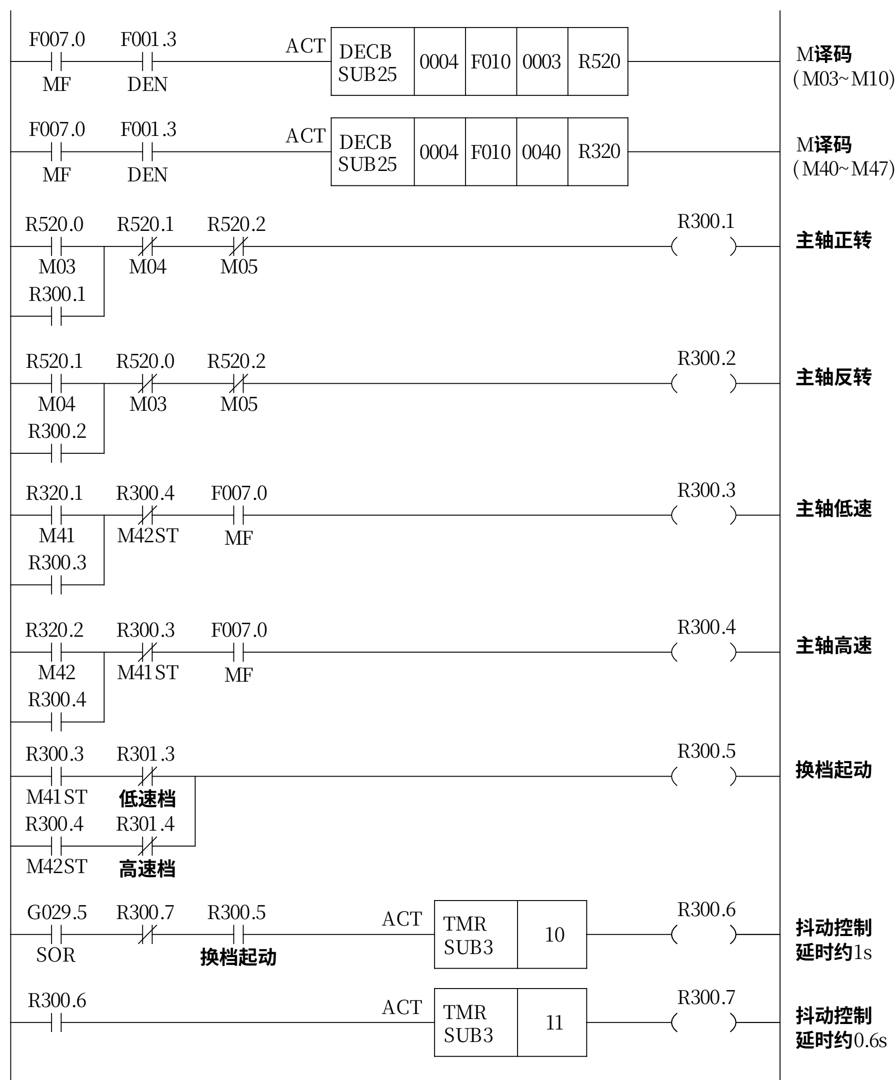


图 7-15　指令译码程序

（2）正反转控制

主轴正反转控制程序如图 7-16 所示，程序和 7.2.2 节所述的模拟主轴速度控制程序类似，驱动器的主电源接触器控制输出 Y8.0 在机床不为急停状态（X008.4 = 1）、主轴起动的其他条件满足时（R300.0 = 1）接通。

作为换档转速输出的基本要求，PMC 输出到 CNC 的主轴停止信号 * SSTP（G029.6），在主轴换档起动（R300.5 = 1）时，应置为“0”，以控制 CNC 输出换档转速。根据实际需要，PMC 程序设计时也可在执行 M05 指令时，撤销 * SSTP，使主轴模拟量输出为 0。

在不使用 PMC 控制 CNC 输出转速和转向时，CNC/PMC 转速、转向控制切换信号 G033.6、G033.7，也可直接置“0”。

当 CNC 输出换档转速时（G029.5 = 1），主轴驱动器的正反转控制输出 Y8.1 或 Y8.2 输出需要加入控制主电动机间隙正反转的换档抖动信号 R300.6。

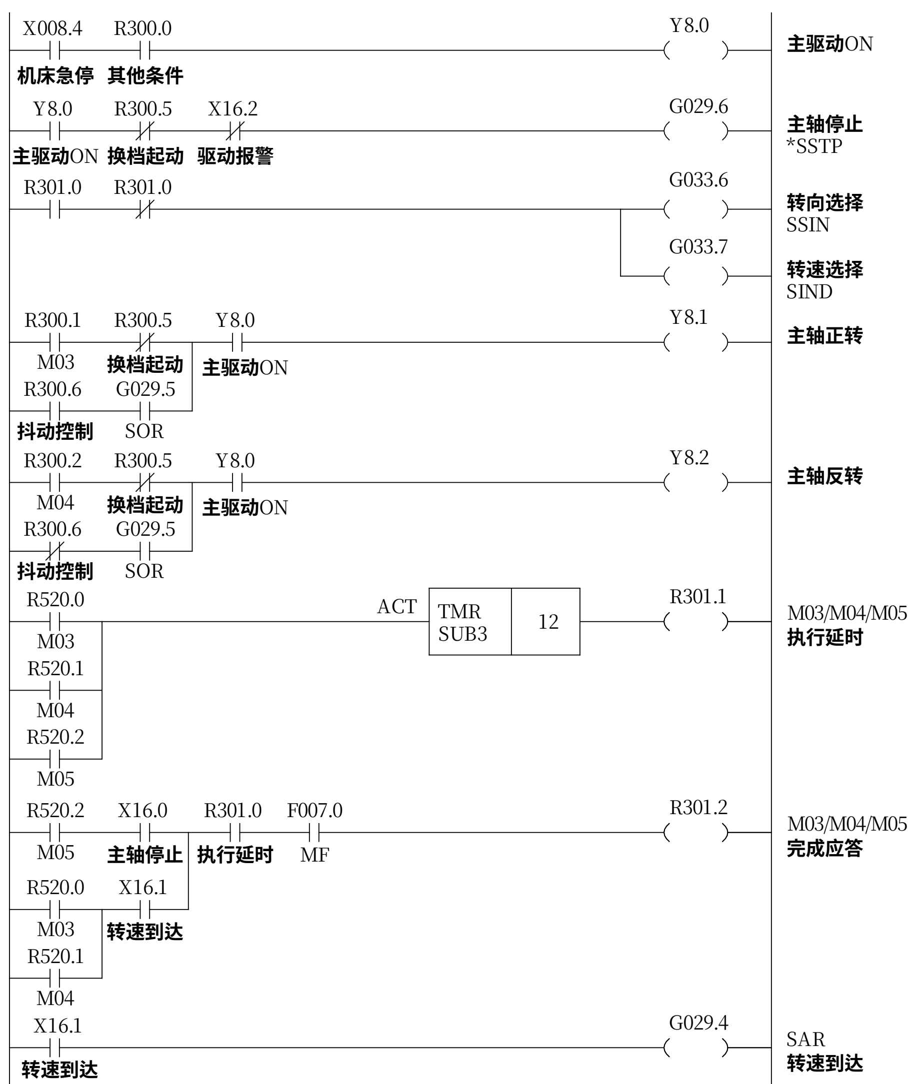


图 7-16　主轴正反转控制程序

M03/M04/M05 的执行完成应答信号 R301.2 及速度到达信号 G029.4 的控制与 7.2.2 节的模拟主轴速度控制程序相同。

（3）传动级交换控制

主轴传动级交换 PMC 程序如图 7-17 所示。

当 CNC 执行 M41/M42 指令时，首先通过换档起动信号 R300.5，将正反转控制程序中的主轴停止信号 * SSTP（G029.6）置为“0”，使主轴停止。当主轴完全停止后，来自驱动器的主轴停止信号 X16.0 为“1”，主轴换档转速输出控制信号 SOR（G029.5）将输出“1”，CNC 可输出参数 PRM3732 设定的换档转速。SOR（G029.5）信号一旦为“1”，一方面可通过前述的正反转控制程序，向驱动器输出间隙正反转信号，使主电动机抖动；同时，程序中的低速或高速换档的电磁阀输出 Y8.3 或 Y8.4 将接通，带动滑移齿轮换档。

换档完成后，低速档或高速档到位信号 R301.3 或 R301.4 将为“1”，PMC 程序可更新现





图 7-17　主轴传动级交换控制程序

行主轴传动级信号 GR2/GR1，同时产生 M41/M42 完成信号 R301.5，结束 M41/M42 指令。

对于换档抖动由主轴驱动器直接产生的机床，只需要程序中的换档转速输出控制信号 SOR（G029.5）统一改为 PMC 输出到驱动器的低速（低频）选择信号，主电动机便可在驱动器的控制下低速抖动，程序的其他部分通用。

7.3.3　M 型换档程序典例

1. 换档特性

M 型换档是由 CNC 自动选择档位的换档方式，在 FANUC 系统上，它只能用于 M 系列 CNC，故称 M 型换档。M 型换档的每一 S 代码都有唯一的档位，传动级交换命令由 CNC 根据编程转速 S 生成，并通过信号 GR1O～GR3O 向 PMC 发送。PMC 接收到换档命令后，必须根据 CNC 指令的传动级进行换档。换档完成后，再通过接口信号 GR1/GR2，将实际传动级告知 CNC，如果档位正确，CNC 即根据实际传动级，输出对应的指令转速。

FANUC 系统的 M 型换档可根据需要选择 A 型、B 型和攻螺纹换档 3 种不同方式，其特性分别如下。

（1） A 型换档

A 型换档的特性如图 7-18 所示，它在 CNC 的主轴转速输出到达固定值时，输出传动级交换命令、改变档位。A 型换档最大可用于 3 级变速，档位切换的主轴转速输出可通过 CNC 参数 PRM3736 设定，各变速档的极限转速可通过参数 PRM3741 ~ PRM3743 设定，当档位切换转速 PRM3736 的设定小于极限转速时，主电动机在到达极限转速前就可换档。

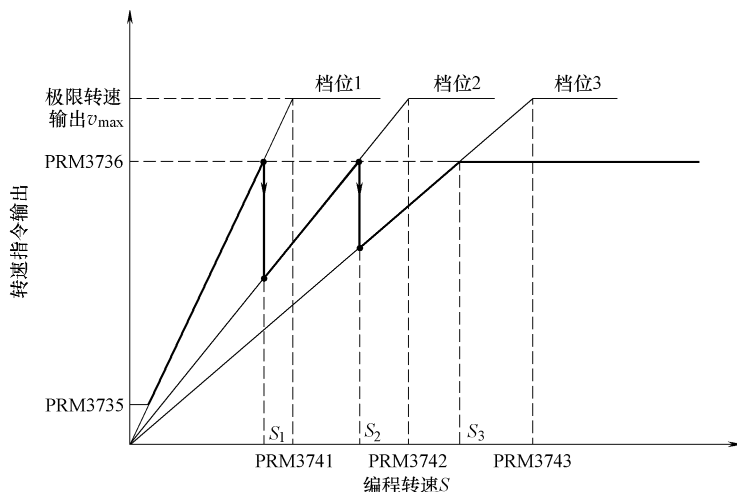


图 7-18　A 型换档特性

（2） B 型换档和攻螺纹换档

B 型换档和攻螺纹换档的特性如图 7-19 所示，各档位的换档转速可通过 CNC 参数进行单独设定，以避免低速档工作时，主电动机的转速过高。

B 型换档可用于所有加工，最大可使用 3 级变速，各变速档的主轴极限转速仍通过参数 PRM3741 ~ PRM3743 予以设定，但其档位 1 到 2、档位 2 到 3 的切换转速可通过参数 PRM3751、PRM3752 分别设定。

攻螺纹换档是专门用于攻螺纹循环固定循环 G84/G74 的主轴换档控制功能，由于攻螺纹加工时的要求主轴具有较大的输出转矩，因此，主电动机的转速同样不能过高。攻螺纹换档和 B 型换档的区别仅在于档位 1 到 2、档位 2 到 3 的切换转速设定参数分别由 PRM3761、PRM3762 设定，其余相同。

2. 控制要求

M 型换档的 A 型、B 型和攻螺纹换档只是换档切换转速的定义有所不同，因此，其 PMC 程序的设计要求一致。

M 型换档的换档命令来自于 CNC，CNC 可根据编程的 S 代码，自动输出 3 级变速档选择信号 GR1O ~ GR3O（F034. 0 ~ F034. 2）和变速档修改信号 SF（F007. 2）。因此，在 PMC 程序设计时，需要以 GR1O ~ GR3O、SF 信号，来代替 T 型换档的 M41 ~ M44 传动级交换命令，传动级交换的其他控制要求与 T 型换档相同。

以高/低速 2 级变速的主轴驱动系统为例，FS-0iD 等 CNC 与 M 型换档有关的主要 PMC-CNC 接口信号 I/O 及根据机械变速要求假设的机床 I/O 信号地址如表 7-9 所示。表中的主轴



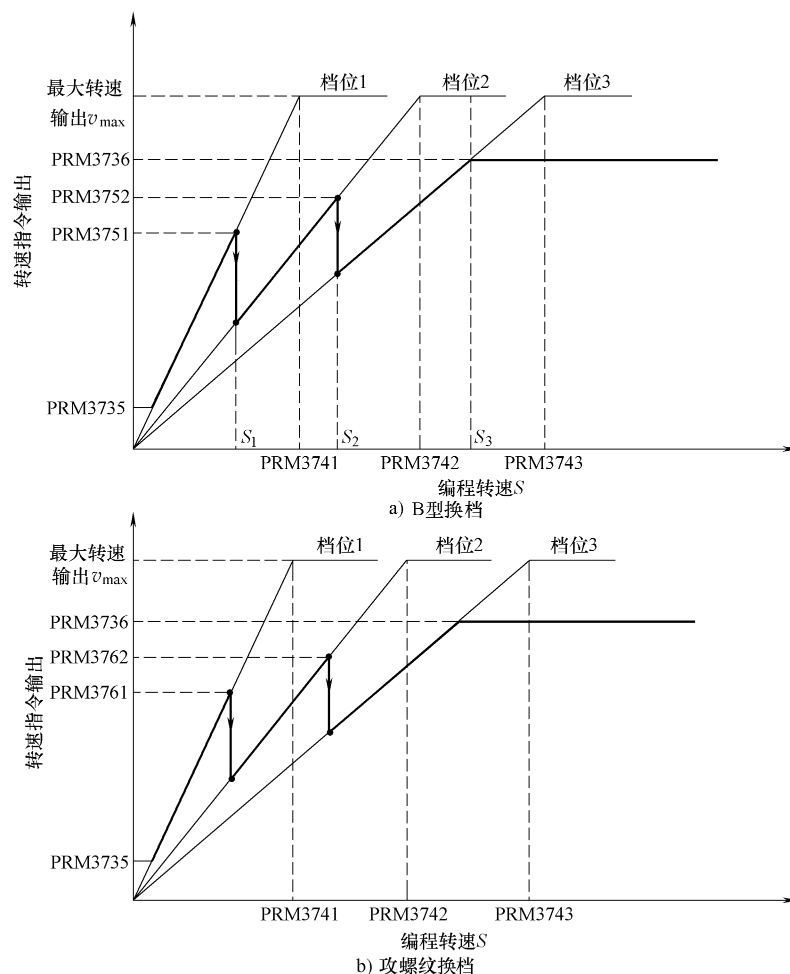


图 7-19　B 型和攻螺纹换档特性

驱动器和机床的输入/输出信号地址可根据实际机床的 I/O 配置改变。

表 7-9　M 型换档控制信号 I/O 地址一览表

代 号	名　称	类 别	PMC 地址	备　注
DEN	分配结束	CNC-PMC 接口信号输入	F001.3	"1"坐标轴运动结束
ENB	主轴使能	CNC-PMC 接口信号输入	F001.4	1:主轴转速输出允许
MF	M 代码选通	CNC-PMC 接口信号输入	F007.0	"1"M 代码输出有效
SF	S 代码选通	CNC-PMC 接口信号输入	F007.2	"1"主轴需要换档
M00 ~ M31	M 代码	CNC-PMC 接口信号输入	F010 ~ F013	32 位二进制 M 代码
GR1O ~ 3O	传动级选择	CNC-PMC 接口信号输入	F034.0 ~ 34.2	CNC 传动级选择信号输出
P1	主轴停止	主轴驱动器信号输入	X16.0	参考地址
P2	主轴转速到达	主轴驱动器信号输入	X16.1	参考地址
P3	主驱动报警	主轴驱动器信号输入	X16.2	参考地址
S31	低速档到位	机床信号输入	X16.3	参考地址
S32	高速档到位	机床信号输入	X16.4	参考地址
FIN	辅助功能结束	CNC-PMC 接口信号输出	G004.3	M/S/T/B 执行完成
GR2/GR1	实际传动级输入	CNC-PMC 接口信号输出	G028.2/28.1	00/01/10/11:低/中/准高/高速
SAR	主轴转速到达	CNC-PMC 接口信号输出	G029.4	1:实际转速与指令转速同
SOR	定向或换档转速输出	CNC-PMC 接口信号输出	G029.5	1:输出定向或换档转速; 0:输出 S 代码编程转速
*SSTP	主轴停止	CNC-PMC 接口信号输出	G029.6	1:S 转速输出;0:输出为 0
SIND	指令转速选择	CNC-PMC 接口信号输出	G033.7	0:CNC 输出;1:PMC 输入

（续）

代 号	名　　称	类 别	PMC 地址	备　注
SSIN	主轴转向选择	CNC-PMC 接口信号输出	G033.6	0:CNC 指令;1:PMC 输入
KM30	主轴驱动器 ON	主电源通断控制输出	Y8.0	参考地址
KA31	主轴正转	主轴驱动器控制输出	Y8.1	参考地址
KA32	主轴反转	主轴驱动器控制输出	Y8.2	参考地址
Y33	主轴换低速档	机床输出	Y8.3	参考地址
Y34	主轴换高速档	机床输出	Y8.4	参考地址

3. PMC 程序

主轴采用 M 型换档时，在 PMC 程序设计上只需要以 GR1O ~ GR3O、SF 信号，来代替 T 型换档的 M41/M42 指令，其他部分与 T 型换档基本相同。M 型换档的主轴控制程序如下。

（1）指令译码

M 型换档的指令译码程序如图 7-20 所示，由于 M 型换档的低/高速传动级交换信号 R300.4、R300.5，可直接由 CNC 的 SF 信号和传动级选择信号 GR1O、GR2O 生成，因此，程序只需要进行 M03/M04/M05 指令的译码。程序的其他部分与 T 型换档相同，可参见前述。

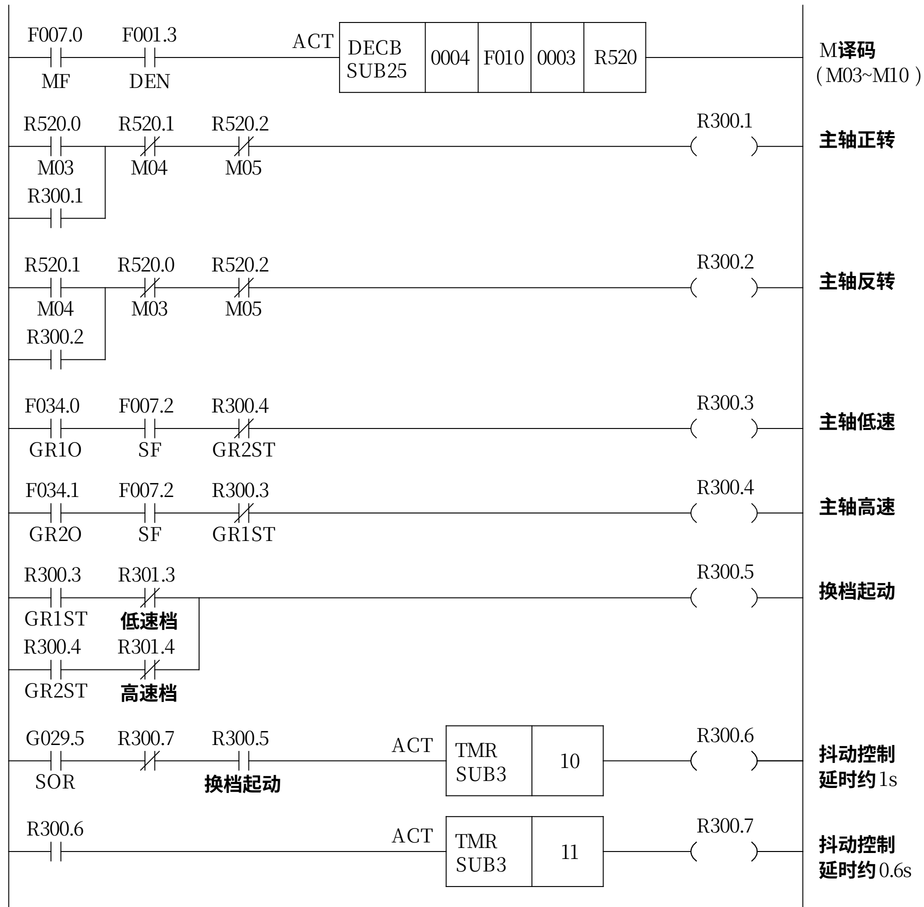


图 7-20　M 型换档指令译码程序

（2）正反转控制

M 型换档的主轴正反转控制 PMC 程序与 T 型换档完全相同，它可直接使用图 7-16 所示

的程序。

（3） 传动级交换控制

M 型换档的主轴传动级交换控制 PMC 程序如图 7-21 所示。程序只是以 S 代码应答代替了 T 型换档的 M41/M42 应答，其余部分与 T 型换档一致，相关说明可参见前述。



图 7-21 M 型换档传动级交换控制程序

M 型换档的主轴抖动同样可直接由主轴驱动器产生，对于此类情况，只需要将上述程序中的换档转速输出控制信号 SOR（G029.5），统一改为 PMC 输出到驱动器的低速（低频）速度选择信号，便可由驱动器控制主电动机低速抖动，程序的其他部分通用。

7.4 主轴定向与定位程序典例

7.4.1 功能说明

1. 功能与选择

主轴定向准停（Spindle Orientation）简称主轴定向，它是控制主轴在某一固定位置上停

止并保持的功能，功能主要用于加工中心自动换刀时的刀具啮合；镗铣床精密镗孔加工、反向镗孔时的让刀；车削类数控机床的工件装夹等。

主轴定位（Spindle Positioning）是一种简单的主轴位置控制功能，它可控制主轴在 360°范围的任意位置上定位停止，并通过闭环位置调节功能保持；定位停止后，还可以通过编程指令以增量或绝对的方式，改变定位点。主轴定位不但可用于加工中心自动换刀、镗铣加工的让刀、数控车床的工件装夹，而且还能够用于车削中心等车铣复合加工机床的主轴简单定位控制。

主轴定向和定位的实现形式在不同机床上有所不同，它们主要决定于 CNC 功能和主轴驱动器类型。以 FS-0iD 系列 CNC 为例，不同规格的 CNC 可使用的定向、定位控制功能如表 7-10 所示。

表 7-10　FS-0iD 可使用的定向、定位控制功能

功　能		FS-0iMD/0iMateMD		FS-0iTD/0iMateTD	
		模拟主轴	串行主轴	模拟主轴	串行主轴
主轴定向	机械式定向	●	○	●	○
	外部驱动器控制定向	●	×	●	×
	CNC 控制定向	×	×	●	●
	串行主轴定向	×	●	×	●
主轴定位	外部驱动器控制定位	●	×	●	×
	CNC 控制定位	×	×	●	●
	串行主轴定位	×	●	×	●

注：●：可使用；○：不推荐使用；×：不能使用。

2. 主轴定向

按照主轴定向的实现形式，数控机床的主轴定向可采用机械和电气两种定向方式。

机械定向一般通过机械插销实现。定向时主轴需要以很低的定向转速旋转，然后，通过气动或液压的控制，将机械插销插入主轴，使主轴固定在指定位置上。机械定位的动作可靠、定位刚性好，但它需要有机械、气动或液压部件，且其定向速度较慢，因此，一般只用于早期的数控机床或国产的经济型、普及型数控机床。

电气定向是主轴的闭环位置控制，使主轴在指定位置停止并保持的功能。由于主轴定向只需要在某一指定点停止，因此，用于主轴定向的位置检测器件既可是具有 360°任意位置检测功能的脉冲编码器，也可是只检测某一固定位置的感应式磁传感器。电气定向的结构简单、调整容易、速度快，故绝大多数数控机床都采用电气定向；但是，电气定向的刚性和可靠性不及机械定向，因此，在对主轴定向刚性和可靠性要求较高的机床上，有时需要同时使用电气定向和机械插销。

主轴电气定向的闭环位置控制既可通过 CNC 实现，也可通过驱动器实现。CNC 控制主轴定向时，可通过主轴位置检测编码器，由 CNC 建立临时的位置闭环，使主轴在指定点停止并保持，停止点的位置可通过参数进行调整和偏移。CNC 进入定向控制后，其主轴速度指令输出被切换成闭环位置误差输出，以控制主轴进行闭环定位，因此，这种控制方式既可用于模拟主轴，也可用于串行主轴。但是，在 FS-0iD 系列 CNC 上，CNC 主轴定向控制功能只能用于车削类机床控制的 FS-0iTD。

利用驱动器闭环位置控制实现电气定向的形式有多种。在使用 CNC 模拟量控制的外部驱动器上，一般可利用 CNC 的辅助功能代码（通常为 M19），向主轴驱动器发送定向命令，



然后通过驱动器的闭环位置功能实现定向，主轴定向的方式完全取决于所使用的主轴驱动器功能。当主轴采用串行主轴驱动器时，主轴定向命令可直接通过 CNC-PMC 接口信号向驱动器发送，然后利用驱动器的闭环位置功能实现定向。在 FS-0iD 系列 CNC 上，串行主轴定向可采用感应式位置传感器进行定点定位或采用脉冲编码器进行 360°任意位置定向；串行主轴定向可用于 FS-0iD 系列 CNC 的所有产品。

3. 主轴定位

主轴定位在定向准停的基础上，增加了定位点的指令调整功能，它可用增量或绝对的形式改变定位点。但是，由于主轴定位的位置检测一般只能使用 1024P/r 等低分辨率编码器，其定位精度相对较差。例如，主轴使用 1024P/r 编码器时，即使通过 CNC 的 4 倍频处理，其位置检测精度也只有 $360°/(4 \times 1024) = 0.088°$；因此，其位置控制精度远远不能满足需要参与插补运算的 Cs 轴控制要求。

主轴定位与定位点可调的主轴定向控制方法类似，它既可通过 CNC 闭环位置控制实现，也可通过驱动器的闭环位置控制实现。在 FS-0iD 系列 CNC 上，CNC 主轴定向控制功能同样只能用于车削类机床控制的 FS-0iTD，功能既可用于主轴模拟量输出，也可用于串行主轴控制。FS-0iTD 的主轴定位可通过辅助功能 M 或 H、C 代码指令定位位置；利用 M 代码指令位置时，一般可指定 1～256 个固定位置；利用 H、C 代码指令时，则可任意指令定位位置。

利用驱动器控制主轴定位时，主轴驱动器必须具有定位控制功能。对于采用 FANUC 串行主轴驱动器的机床，只要主轴配置 1024P/r 编码器，FS-0iD 的全部产品均可使用主轴定位功能。如机床采用其他主轴驱动器，则需要将辅助功能 M 或 H、C 代码指令的定位位置，通过 PMC 程序转换为驱动器的定位位置输入信号，由驱动器进行定位控制。

7.4.2　机械定向程序典例

1. 程序设计要求

机械式主轴定向控制的 PMC 程序设计十分简单，它只需要将 CNC 的主轴定向命令（M19 代码），转换为主轴低速旋转的速度指令信号；当主轴进入定向的低速旋转后，再通过气动或液压的控制，进行定位插销。定位销一旦插入，应立即取消旋转指令、停止主轴选择，以防止主轴长时间过载。

主轴定位时的转速给定指令，既可由 CNC 生成，也可由驱动器生成。当转速由 CNC 给定时，可通过 PMC 程序向 CNC 发送定向或换档转速输出信号 SOR（G029.5），使 CNC 的主轴速度给定输出切换为参数 PRM3732 设定的固定低速输出。如果定向速度由驱动器生成，则可通过 PMC 的输出信号，直接控制驱动器成为固定的低速定向转速；例如，可通过变频器的固定频率选择信号，选择变频器参数设定的低速频率等。

在采用机械插销定向的机床上，为了防止主轴在插销定位时出现的错误旋转，而引起机械部件的损坏，应通过主轴驱动器的主轴转矩限制功能，限制主轴的最大输出转矩，并在驱动器参数上设定合适的转矩限制值。主轴转矩限制功能在定位销插入后，应始终生效。

以使用主轴模拟量输出控制、外部主轴驱动器（如变频器等）驱动的主轴驱动系统为例，FS-0iD 等 CNC 与主轴定向有关的主要 PMC-CNC 接口信号 I/O 地址，及根据机械定向要求假设的机床侧 I/O 信号地址如表 7-11 所示。表中的主轴驱动器和机床的输入/输出信号地址可根据实际机床的 I/O 配置改变。



表 7-11　机械插销定向 I/O 地址一览表

代 号	名　称	类　别	PMC 地址	备　注
DEN	分配结束	CNC-PMC 接口信号输入	F001.3	“1”坐标轴运动结束
MF	M 代码选通	CNC-PMC 接口信号输入	F007.0	“1”M 代码输出有效
M00 ~ M31	M 代码	CNC-PMC 接口信号输入	F010 ~ F013	32 位二进制 M 代码
P1	主轴停止	主轴驱动器信号输入	X16.0	参考地址
P3	主驱动报警	主轴驱动器信号输入	X16.2	参考地址
S33	定向插销到位	机床信号输入	X16.5	参考地址
FIN	辅助功能结束	CNC-PMC 接口信号输出	G004.3	M/S/T/B 执行完成
SOR	定向或换档转速输出	CNC-PMC 接口信号输出	G029.5	1:输出定向或换档转速; 0:输出 S 代码编程转速
*SSTP	主轴停止	CNC-PMC 接口信号输出	G029.6	1:S 转速输出;0:输出为 0
KM30	主轴驱动器 ON	主电源通断控制输出	Y8.0	参考地址
Y35	定向插销	机床电磁阀输出	Y8.5	参考地址
KA36	主轴转矩限制	主轴驱动器控制输出	Y8.6	参考地址

2. PMC 程序

根据以上要求设计的主轴定向控制程序如图 7-22 所示，程序中的主轴定向利用加工程序中的辅助功能指令 M19 起动，程序包括指令译码、定向控制、M19 完成应答等部分。

（1）指令译码

M19 指令译码程序使用的是二进制译码指令 DECB（SUB25），当 CNC 执行 M19 指令时，内部继电器 R310.0 将为“1”，启动主轴定向。程序中的 R520.0、R520.1、R520.2 为 M03、M04、M05 译码信号，当 CNC 执行 M03/M04/M05 指令时，将通过 M19 撤销信号 R303.0 撤销主轴定向、恢复主轴正常旋转；

（2）定向控制

当 CNC 执行 M19 指令时，如主轴已处于定向插销状态（R303.2 =1），则直接产生 M19 完成应答信号 R303.4，结束 M19 指令；否则，将产生定向启动信号 R303.3，并将主轴停止信号 *SSTP（G029.6）置为“0”，使主轴快速停止。

当主轴停止后，来自驱动器的主轴停止信号 X16.0 为“1”，PMC 将向 CNC 发送主轴定向或换挡转速输出信号 SOR（G029.5），使 CNC 的主轴转速输出切换到定向低速，使主轴进入低速旋转；同时，主轴定向插销电磁阀控制输出 Y8.5 和主轴转矩限制信号 Y8.6 将成为“1”，插销装置将在弹簧的作用下伸出，一旦主轴定向位置到达，便可将定位销插入主轴定位孔进行定位。

（3）完成应答

插销定位完成后，检测信号 X16.5 为“1”，此时，可通过定向完成信号 R303.2 生成 M19 完成应答信号 R303.4，并通过辅助功能执行完成信号 FIN（G004.3）结束 M19 指令执行过程。

7.4.3　串行主轴定向程序典例

1. 控制要求

在配套 FANUC 串行主轴驱动器的机床上，主轴的定向与定位控制功能可通过主轴驱动器实现，这种控制方式可用于 FS-0iD 的所有产品，主轴定向的位置检测可使用感应式磁传感器或脉冲编码器。如主轴只需要进行定向控制，为了简化机械结构、降低制造成本，一般



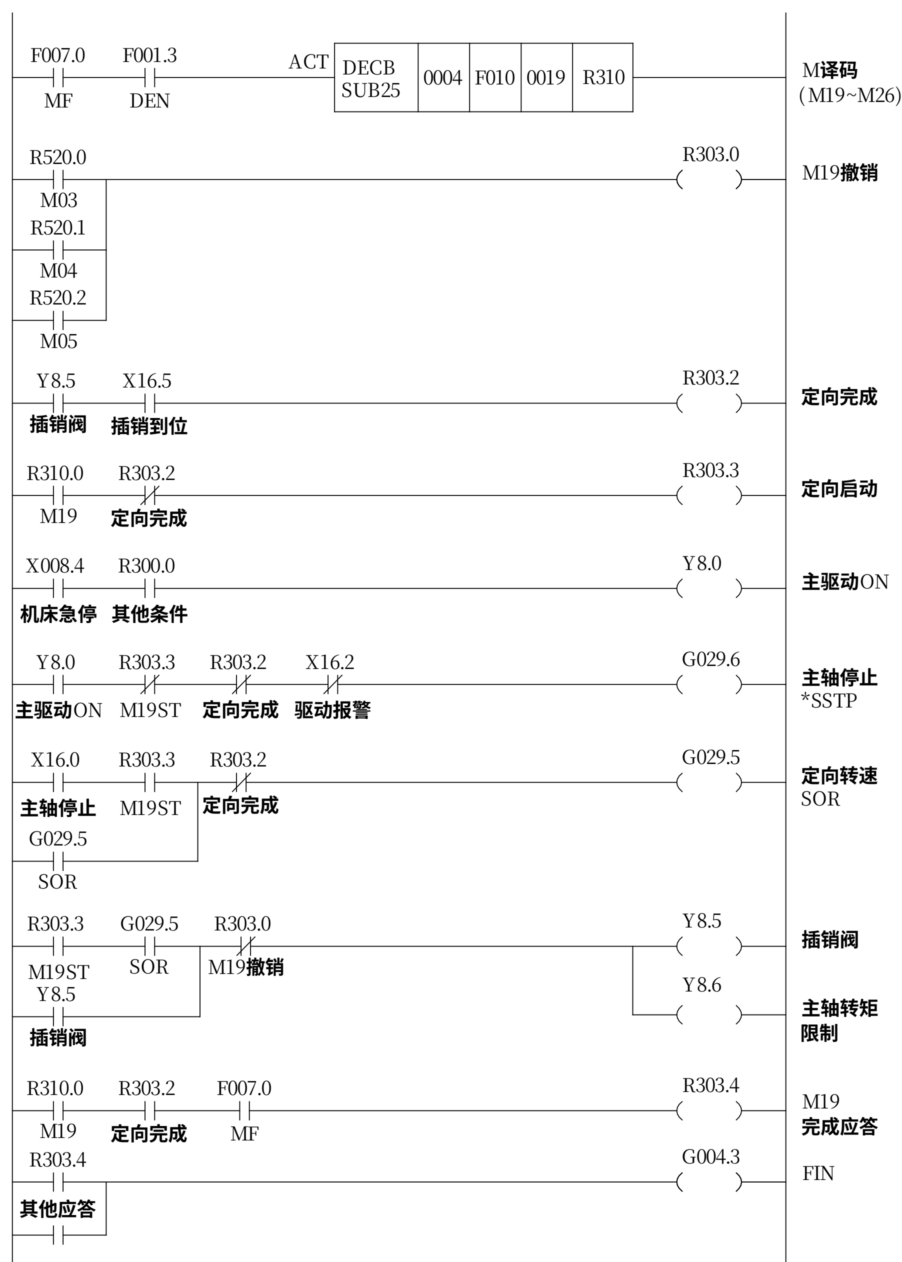


图 7-22　机械式主轴定向控制程序

可使用感应式磁传感器；如主轴使用脉冲编码器，则不仅可进行定向，而且还可实现后述的主轴定位功能。

FANUC 串行主轴定向的动作过程如图 7-23 所示，控制要求如下。

1）CNC 执行加工程序中的主轴定向指令 M19，PMC 程序将 M19 转换为串行主轴的定向命令 ORCM（G070.6），并将主轴正反转信号 SFR/SRV（G070.4/G070.5）同时置“0”。

2）主轴驱动器在接收到 ORCM 命令后，如主轴处于旋转状态，则按照 CNC 参数规定的方向（PRM4003.2/PRM4003.3 设定）、减速到参数（PRM4038）设定的定向速度后，进

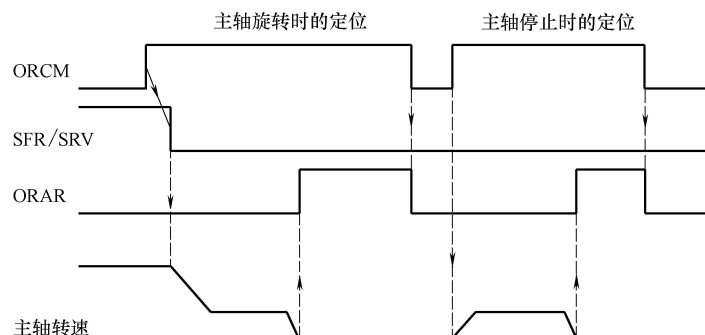


图 7-23　串行主轴定向动作过程

行定向；如主轴处于停止状态，则按参数规定的方向和速度起动旋转，进行定向。

3）主轴定向完成后，驱动器可通过 CNC 向 PMC 发送定向完成信号 ORAR（F045.7），同时，主轴将进入闭环位置调节状态。

4）PMC 在收到定向完成信号 ORAR 后，结束主轴定向 M19 指令。此时，如主轴无插销等机械定位装置，PMC 的主轴定位命令输出 ORCM 应保持“1”，使主轴保持闭环位置调节状态，以防止机床执行自动换刀、主轴夹紧等动作时的定位点偏移。

5）当主轴需要恢复旋转时，利用 M03/M04/M05 指令，撤销主轴定位命令 ORCM，使主轴回到速度控制状态。

2. 接口信号

FANUC 串行主轴驱动器的定向控制信号可通过 CNC-PMC 接口直接传送，主要信号的地址如表 7-12 所示。

表 7-12　串行主轴定向 PMC 接口信号表

代号①	名　称	类　别	PMC 地址	备　注
DEN	分配结束	CNC-PMC 接口信号输入	F001.3	“1”坐标轴运动结束
MF	M 代码选通	CNC-PMC 接口信号输入	F007.0	“1”M 代码输出有效
M00 ~ M31	M 代码	CNC-PMC 接口信号输入	F010 ~ F013	32 位二进制 M 代码
ORARA	主轴定向完成	串行主轴状态信号输入	F045.7	1：定向完成
FIN	辅助功能结束	CNC-PMC 接口信号输出	G004.3	M/S/T/B 执行完成
SRVA	主轴正转	串行主轴控制信号输出	G070.4	00 或 11：停止；01：正转；10：反转
SFRA	主轴反转	串行主轴控制信号输出	G070.5	
ORCMA	主轴定向	串行主轴定向命令输出	G070.6	1：定向；0：撤销定向
MRDYA	主轴驱动使能	串行主轴使能命令输出	G070.7	1：主轴驱动使能
* ESPA	主轴急停	串行主轴急停命令输出	G071.1	1：正常工作；0：急停

① 代号后缀“A”，为第 1 主轴信号，其他信号同。

3. PMC 程序

按照以上串行主轴要求设计的主轴定向控制程序如图 7-24 所示。

M19 指令译码可通过二进制译码指令 DECB（SUB25）实现，当 CNC 执行 M19 指令时，内部继电器 R310.0 将为“1”，此时如主轴已处于定向完成状态（R303.2 = 1），则 M19 完成应答信号 R303.4 将为“1”，直接结束 M19 指令执行；否则，PMC 将通过 CNC 接口信号发送串行主轴定向命令 ORCM（G070.6）。程序中的 R520.0、R520.1、R520.2 为 M03、M04、M05 译码信号，当 CNC 执行 M03/M04/M05 指令时，将通过 M19 撤销信号 R303.0 撤



图 7-24　串行主轴定向控制程序

销主轴定向命令 ORCM（G070.6），恢复主轴正常旋转。

主轴定向命令 ORCM（G070.6）一旦为“1”，PMC 可立即将串行主轴的正/反转控制信号 SRV（G070.4）/SFR（G070.5）同时置“1”，使主轴进入定向控制状态。主轴完成定向后，来自 CNC 的定向完成信号 ORAR（F045.7）将为“1”，它可通过定向完成信号 R303.2，使 M19 完成应答信号 R303.4 将为“1”，结束 M19 指令执行。主轴定向后，定向命令 ORCM（G070.6）将一直保持，直到 CNC 执行 M03/M04/M05 指令时才能撤销。

7.4.4　串行主轴定位程序典例

1. 控制信号

当串行主轴电动机使用带零位脉冲的内置编码器，或使用外置光电、磁性编码器作为位置检测器件时，主轴不但能够进行定向准停，而且还具有定位功能。串行主轴定位一般应使用分辨率为 1024P/r 的编码器，因此，定位位置的最小单位为 360°/(4×1024)=0.088°。主

轴定位功能实际上涵盖了主轴定向准停的要求，因此，在使用脉冲编码器作为主轴位置检测器件的机床上，可直接用主轴定位功能替代定向准停控制。

串行主轴的定位位置一般通过 CNC 的第 2 辅助功能 B（地址可通过 CNC 参数修改）指令，当然，如需要也可以通过数据寄存器 D、用户宏程序输出信号 UO 等形式指令。串行主轴的定位控制可直接通过 PMC-CNC 接口信号进行，FS-0iD 等 CNC 与主轴定位相关的主要接口信号如表 7-13 所示。

表 7-13　串行主轴定位 PMC 接口信号表

代　号	名　称	类　别	PMC 地址	备　注
DEN	分配结束	CNC-PMC 接口信号输入	F001.3	“1”坐标轴运动结束
BF	B 代码选通	CNC-PMC 接口信号输入	F007.4	FS-0iTD 为 F007.7
B00 ~ B31	B 代码	CNC-PMC 接口信号输入	F030 ~ F033	32 位二进制代码
ORARA	主轴定位完成	串行主轴状态信号输入	F045.7	1：定位完成
INCSTA	现行定位方式	串行主轴状态信号输入	F045.1	0：绝对；1：增量
FIN	辅助功能结束	CNC-PMC 接口信号输出	G004.3	M/S/T/B 执行完成
SRVA	主轴正转	串行主轴控制信号输出	G070.4	00 或 11：停止；01：正转；10：反转
SFRA	主轴反转	串行主轴控制信号输出	G070.5	
ORCMA	主轴定向	串行主轴控制信号输出	G070.6	1：定向；0：撤销定向
MRDYA	主轴驱动使能	串行主轴控制信号输出	G070.7	1：主轴驱动使能
*ESPA	主轴急停	串行主轴控制信号输出	G071.1	1：正常工作；0：急停
INDX A	主轴定位指令	串行主轴控制信号输出	G072.0	下降沿有效
ROTA A	主轴定位转向	串行主轴控制信号输出	G072.1	0：正转；1：反转
NRRO A	主轴捷径定位	串行主轴控制信号输出	G072.2	0：无效；1：有效
INCMD A	主轴定位方式	串行主轴控制信号输出	G072.5	0：绝对；1：增量
SHA01 ~ 12	主轴定位点指定	串行主轴控制信号输出	G078.0 ~ G079.3	12 位二进制

串行主轴的定位实质上是对定向位置的调整，因此，主轴定位需要在主轴定向完成后进行，主轴进行分度定位时，其定向命令 ORCM（G070.6）必须始终保持为“1”。此外，CNC 的主轴定位外部停止位置指定功能参数 PRM3702.2（第 1 主轴）/PRM3702.3（第 2 主轴）必须设定为“1”。

FANUC 串行主轴的定位可通过 CNC-PMC 的接口信号 INCMD（G072.5）选择绝对或增量两种定位方式，其控制要求分别如下。

2. 绝对定位

主轴选择绝对定位时，定位点输入信号 SH01 ~ SH12 直接指令定位点，主轴可从定向位置移动到指定位置。主轴的运动方向，可通过定位转向信号 ROTA（G072.1）指定，或通过捷径选择信号 NRRO（G072.2），自动选择运动距离最短的定位方向。

绝对位置定位的动作过程如图 7-25 所示，以第 1 主轴为例，其定位控制的要求如下。

1）设定参数 PRM3702.2 为“1”，生效主轴定位停止位置外部指定功能。

2）执行主轴定向 M19 指令、完成主轴定向，并保持定向命令 ORCM（G070.6）为“1”。

3）利用 CNC 的第 2 辅助功能指令（如 B 等），通过定位点选择信号 SH01 ~ SH12（G078.0 ~ G079.3）指令 12 位二进制定位位置。

4）通过 CNC 的辅助功能指令，将定位方式选择信号 INCMD（G072.5）置“0”，选择绝对定位方式。

5）通过 CNC 的辅助功能指令，利用信号 ROTA（G072.1）或 NRRO（G072.2），选择



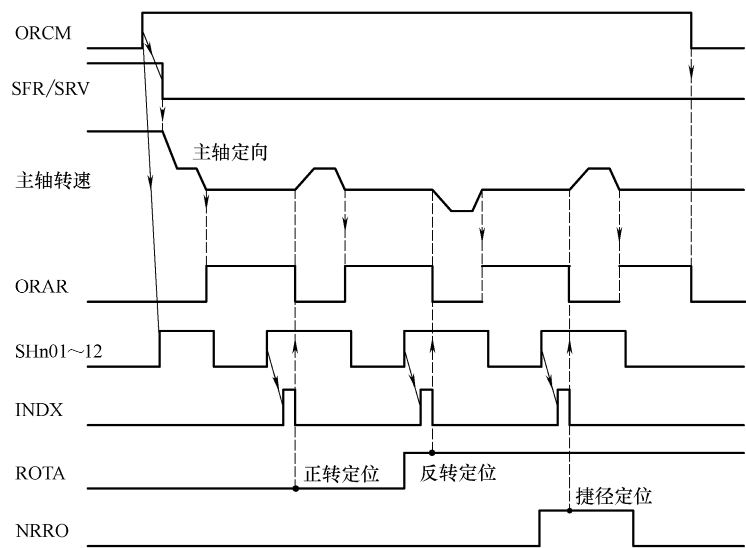


图 7-25　绝对定位过程

定位方向或捷径。

6）利用信号 INDX（G072.0，下降沿有效）发送定位命令。

7）主轴按指定的方向和位置定位，完成后将定位完成信号 ORAR（F045.7）置“1”，并保持闭环位置调节状态。

8）如需要，可重复 3）~7）动作，变换定位点。

主轴定位完成后，如将定向命令 ORCM（G070.6）置“0”，则主轴撤销闭环位置控制、回到速度控制方式。

3. 增量定位

主轴选择增量位置定位时，可直接利用定位点输入信号 SH01 ~ SH12 增量调整定位点。增量定位同样需要在主轴定向完成后、定向命令 ORCM（G070.6）保持为“1”时进行，主轴的移动方向可通过定位转向信号 ROTA（G072.1）指定（捷径无效）。

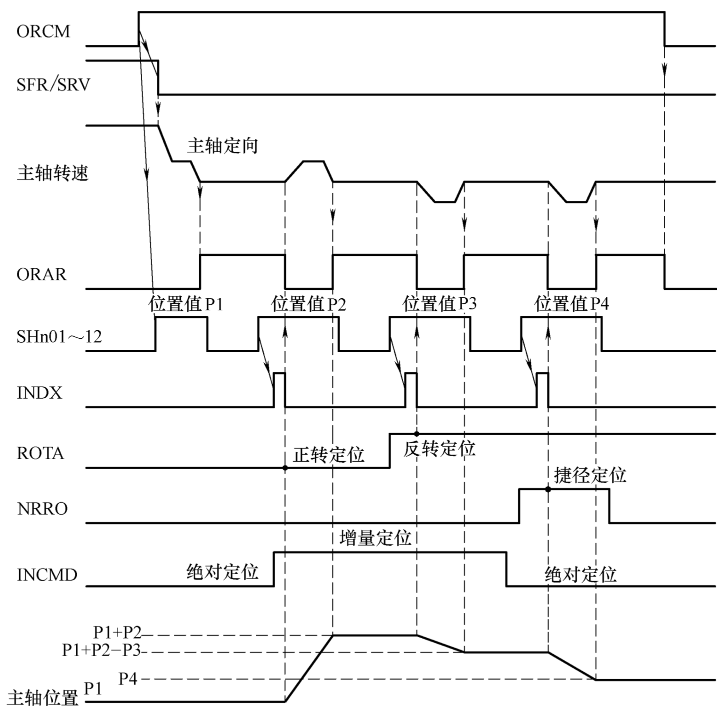


图 7-26　增量定位过程

增量定位的动作过程如图 7-26 所示，以第 1 主轴为例，其定位控制的要求如下。

1）设定参数 PRM3702.2 为“1”，生效主轴定位停止位置外部指定功能。

2）执行主轴定向 M19 指令、完成主轴定向，并保持定向命令 ORCM（G070.6）为“1”。

3）利用 CNC 的第 2 辅助功能指令（如 B 等），通过定位点选择信号 SH01 ~ SH12（G078.0 ~ G079.3）指令 12 位二进制定位增量值。

4）通过 CNC 的辅助功能指令，将定位方式选择信号 INCMD（G072.5）置“1”，选择增量定位方式。

5）通过 CNC 的辅助功能指令，利用信号 ROTA（G072.1）选择定位方向。

6）利用信号 INDX（G072.0，下降沿有效）发送定位命令。

7）主轴按指定的方向和位置定位，完成后将定位完成信号 ORAR（F045.7）置“1”，并保持闭环位置调节状态。

8）如需要，可重复 3）~ 7）动作，变换定位点。

主轴定位完成后，如将定向命令 ORCM（G070.6）置“0”，则主轴撤销闭环位置控制、回到速度控制方式。

4. PMC 程序设计

一般而言，串行主轴定位的定位位置可通过加工程序中的第 2 辅助功能 B 给定，定位方式与定位方向可利用辅助功能 M 指令。例如，当定位位置以 12 位 B 代码（B0 ~ B4095）指定，并定义以下辅助功能代码时，如加工程序中的定位指令按“B * * M20;”格式编程，则其 PMC 程序如图 7-27、图 7-28 所示。

M20：捷径定位；

M21：正向增量定位；

M22：负向增量定位；

M23：正向绝对定位；

M24：负向绝对定位。

图 7-27 所示的程序用于 B 代码处理，它可将加工程序中的 B 代码转换为串行主轴的定位位置信号。

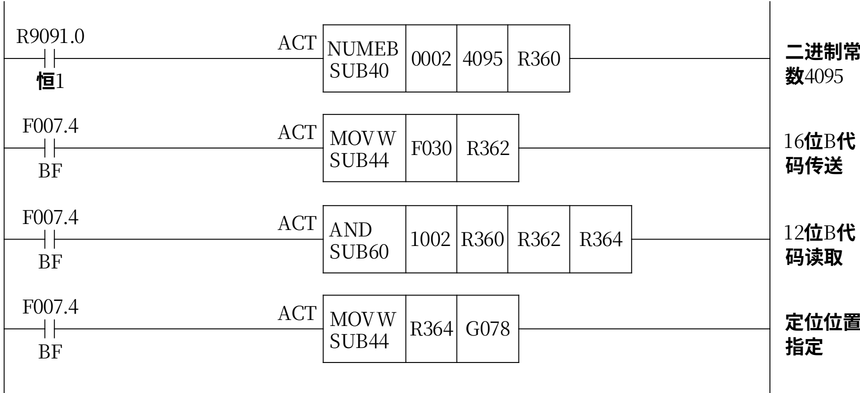


图 7-27　B 代码处理程序

因串行主轴的定位位置输入为 12 位二进制信号，而 CNC 的 B 代码输出为 32 位二进制信号，故 PMC 程序需要将 B 代码的低 16 位输出（F031、F030）和二进制常数 0FFF（4095）进行“位与”运算后，读取其低 12 位输出，并将其传送到 G078 上。此外，由于 B 代码和 M 代



码在同一程序段上编程，因此，其辅助功能执行完成应答需要在 M 代码执行完成后进行。

图 7-28 所示的程序用于 M 代码处理，它可将加工程序中的 M 代码转换为串行主轴的定位控制信号。程序的执行时序如下。

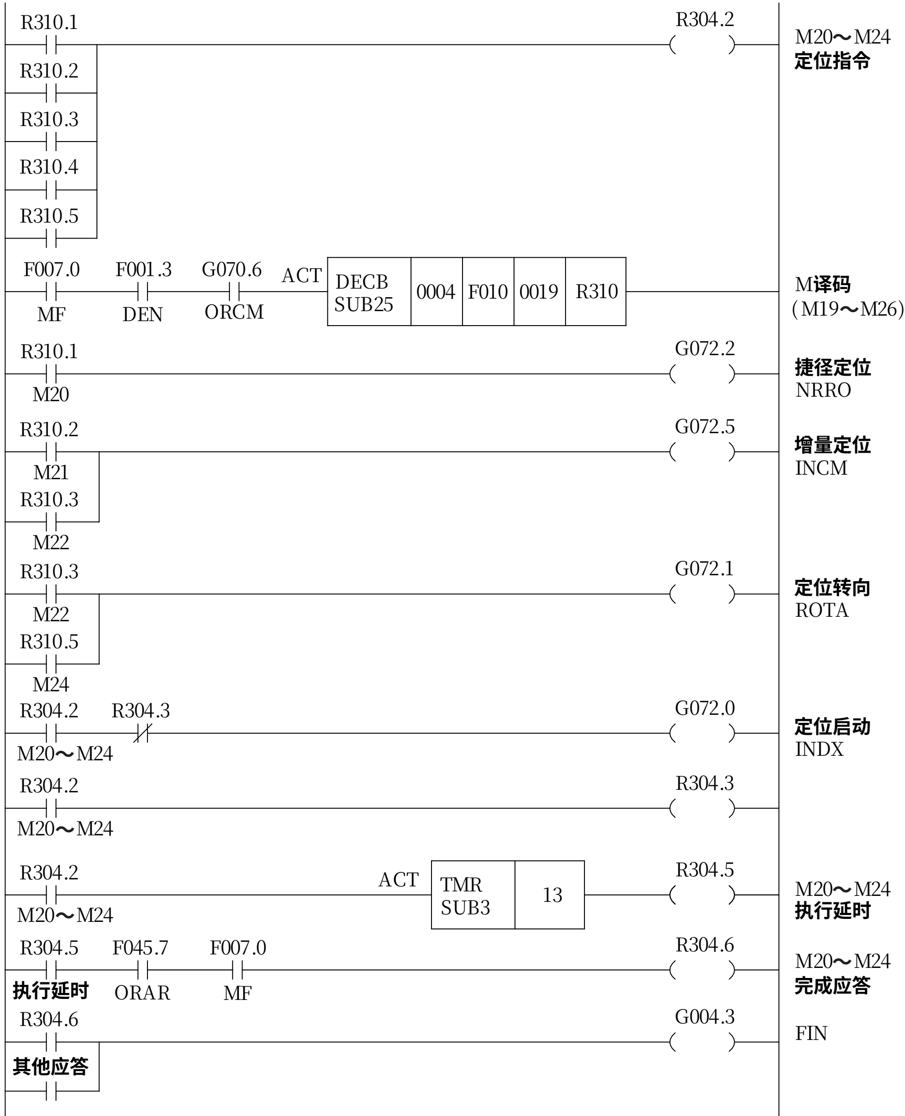


图 7-28　M 代码处理程序

在 M 代码输出后的 PMC 第 1 循环周期，如主轴已经完成定向准停且定向信号 ORCM（G070.6）保持“1”，程序可通过二进制译码指令 DECB（SUB25），将 M20 ~ M24 代码转换为内部继电器 R310.1 ~ R310.5 的状态信号。同时，根据上述 M 代码定义，当执行 M20 指令时，将使串行主轴捷径定位信号 NRRO（G072.0）为“1”；执行增量定位指令 M21、M22 时，将使串行主轴增量定位信号 INCMD（G072.5）为“1”；而在执行负向增量或绝对定位指令 M22、M24 时，将使串行主轴定位方向信号 ROTA（G072.1）为“1”。

在 M 代码输出后的 PMC 第 2 循环周期，定位指令 M20 ~ 24 的状态信号 R304.2 将为“1”，它可使串行主轴的定位指令信号 INDX（G072.0）为“1”，但由于 INDX 为下降沿有效，因此，此时并不能启动主轴定位动作。

在 M 代码输出后的 PMC 第 3 循环周期，串行主轴的定位指令信号 INDX（G072.0）将由“1”变为“0”，这一下降沿将启动主轴定位动作。

以上时序设计保证了捷径定位、增量定位及定位方向控制信号，能提前于定位启动信号 INDX（G072.0）2 个 PMC 循环周期发出，以满足串行主轴对定位控制信号的时序要求。此外，由于执行主轴定位指令时，主轴已处于定向完成或定位完成的状态，到位信号 ORAR（F045.7）为“1”，为了防止 M20 ~ M24 指令被 FIN 信号直接结束，M20 ~ M24 的完成应答信号 R304.6 需要利用定时 T13 延时一定时间后检测到位信号 ORAR 的状态。

7.4.5 FS-0iTD 主轴定向程序典例

1. 功能说明

在车削类数控机床控制用的 FS-0iTD 上，主轴定向和定位控制不但可使用前述的机械式主轴定向、外部驱动器控制定向及串行主轴定向、串行主轴定位等功能，而且还可通过 CNC 的闭环位置控制实现主轴定向和定位，这一方式称为 CNC 控制定向和定位。

在数控车床上，即使 CNC 采用的是模拟主轴控制功能，为了满足螺纹多次进给切削或多头螺纹加工的需要，主轴需要具备定向（0°定位）及定位（指定角度定位）的功能；而且，由于螺纹加工时要求刀具进给轴和主轴回转同步，因此，主轴定向和定位需要由 CNC 进行控制。

FS-0iTD 的 CNC 主轴定向和定位需要像坐标轴控制一样，先建立零点，然后才能进行指定位置定位。由于主轴零点一般定在编码器的零脉冲上，它是一个仅与编码器安装有关的固定位置，因此，其主轴定向实际上就是主轴在零点位置的定位。

FS-0iTD 的 CNC 主轴定向和定位功能的使用要点如下。

1）CNC 主轴定向实际上是通过 CNC 闭环位置控制实现的主轴零点定位，因此，主轴的位置检测必须使用分辨率为 1024P/r、带零脉冲输出的编码器。

2）FS-0iTD 的 CNC 主轴定向（定位）控制功能通过 CNC 的控制实现，因此，它既可用于串行主轴，也可用于模拟主轴。串行主轴选择 CNC 主轴定向（定位）控制时，应设定 CNC 参数 PRM8133.1 = 1、PRM8133.2 = 0，生效 CNC 主轴定向（定位）控制功能、取消驱动器位置控制功能。在多主轴控制的机床上，主轴定向可用于第 1 和第 2 主轴；但主轴定位只能用于第 1 主轴。

3）主轴定向的转向需要根据驱动器形式，利用不同的 CNC 参数进行设定，模拟主轴的转向设定参数为 PRM1006.5（ZMIn）；串行主轴的转向设定参数为 PRM4000.4（RETSV）。

4）CNC 主轴定向的零点位置可通过零点偏置参数进行调整。在模拟主轴控制，零点偏置参数为 PRM1850，偏移范围可以为 −180° ~ 180°；使用串行主轴控制时，零点偏置参数为 PRM4073，偏移范围为 0° ~ 360°。

5）CNC 主轴定向需要通过 CNC 参数 PRM4960 设定专门的 M 代码（如 M19 等），将主轴切换到 CNC 闭环位置控制方式；需要恢复主轴速度控制功能时，同样需要通过 CNC 参数



PRM4961 设定的专门 M 代码（如 M20 等），撤销 CNC 的主轴闭环位置控制功能。

6）对于模拟主轴，当 CNC 进入主轴闭环位置控制时，有时需要通过改变主轴模拟量输出的极性，来产生保持定位点的恢复转矩，因此，主轴驱动器一般选择通过速度给定输入极性控制主轴正反转的控制方案。

7）为了防止加工切削力引起主轴位置的偏移，主轴一般需要附加机械夹紧装置，夹紧与松开控制信号可由 CNC 自动生成，无须进行专门指令。

8）在加工程序中，用于主轴定向（定位）控制的 M 代码需要使用独立的程序段。进给保持、试运行、机床锁住等操作，不能中断已经启动的 CNC 主轴定向（定位）动作，它们需要在定向（定位）完成后才能生效。程序重新启动、辅助功能锁住对 CNC 主轴定向（定位）控制的 M 代码无效。

CNC 主轴定向（定位）控制需要设定较多的 CNC 参数，例如，主轴名称参数 PRM1020 一般应设定为“C”，轴号参数 PRM1023 需要设定为“－1”等，有关内容可参见本书作者编写的《FANUC-0iD 调试与维修》（机械工业出版社，2013 年 11 月）一书。

2. PMC 程序设计要求

FS-0iTD 的 CNC 主轴定向过程与坐标轴回参考点类似，CNC 将主轴切换到位置控制方式后，首先需要加速（或减速）到参数 PRM1428 或 PRM1420 设定的定向速度 F，一旦 CNC 检测到位置编码器的零脉冲，便主动减速至参数 PRM1425 设定的回零速度 F_L，再次搜索零点并在该点上定位。

主轴定向完成后，主轴将保持 CNC 的闭环位置控制状态；如果需要恢复主轴速度控制功能，应利用 CNC 参数 PRM4961 设定的 M 代码，取消主轴定向并撤销 CNC 的主轴闭环位置控制。

主轴定向的动作流程如图 7-29 所示，其 PMC 程序设计要求如下。

1）执行 CNC 参数 PRM4960 设定的主轴定向专用 M 代码，CNC 向 PMC 输出 M 代码信号和 MF 信号。

2）PMC 程序进行 M 代码处理、停止主轴旋转；主轴停止后，PMC 向 CNC 输出主轴停止确认信号 SPSTP（G028.6）。

3）CNC 在收到 PMC 发送的主轴停止确认信号 SPSTP（G028.6）后，立即将主轴由速度控制切换至闭环位置控制模式，并输出主轴定位生效的状态信号 MSPOS（F039.0）。

4）CNC 向 PMC 发送主轴松开信号 SUCLP（F038.1），PMC 程序控制机床执行主轴的松开动作；完成后，向 CNC 发送松开完成信号 *SUCPF（G028.4）。

5）CNC 收到松开完成信号 *SUCPF 后，撤销主轴松开信号 SUCLP，并输出主轴定向转速，完成主轴定向。同时，PMC 程序将松开完成信号 *SUCPF 恢复至“1”。

6）主轴以回零速度搜索零点，并完成定位；定位完成后，CNC 向 PMC 发送零位到达信号 ZPn（F094.0～F094.4，决定于主轴设定）和主轴夹紧信号 SCLP（F038.0）。

7）利用 PMC 程序，控制机床执行主轴的夹紧动作，完成后向 CNC 发送夹紧完成信号 *SCPF（G028.5）。CNC 收到 *SCPF 后，将撤销主轴夹紧信号 SCLP；SCLP 信号一旦撤销，PMC 程序应马上恢复夹紧完成信号 *SCPF。

8）PMC 程序输出辅助功能执行完成信号 FIN（G004.3），CNC 撤销 MF 信号输出。

9）PMC 程序将 FIN 信号置“0”，CNC 撤销 M 代码输出，结束 M 代码的执行过程。



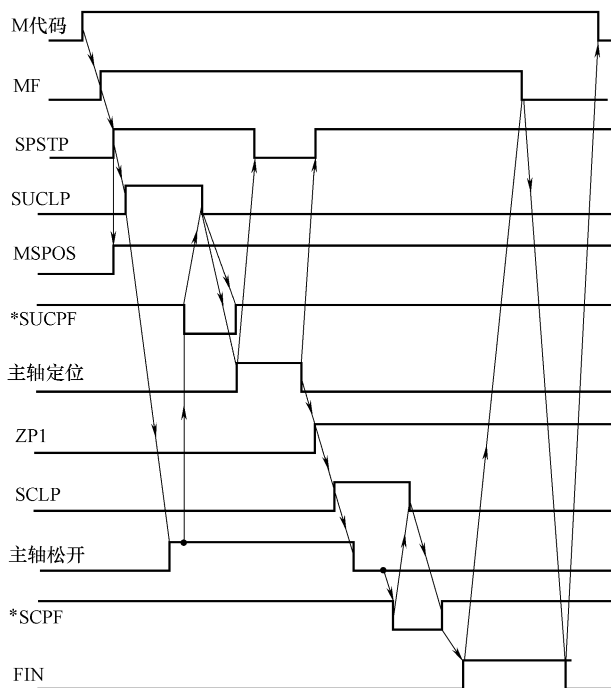


图 7-29　CNC 主轴定向动作流程

撤销主轴定向的动作流程如图 7-30 所示，其 PMC 程序设计要求如下。

1）执行 CNC 参数 PRM4961 设定的主轴定向撤销 M 代码，CNC 向 PMC 输出 M 代码信号和 MF 信号。

2）PMC 程序进行 M 代码处理，并通过主轴停止确认信号 SPSTP（G028.6），确认主轴已停止旋转。

3）CNC 在收到 PMC 发送的主轴停止确认信号 SPSTP（G028.6）后，将主轴由闭环位置控制切换至速度控制模式，主轴定位生效状态信号 MSPOS（F039.0）恢复“0”。

4）CNC 输出主轴松开信号 SUCLP（F038.1），PMC 程序控制机床执行主轴的松开动作；完成后，向 CNC 发送松开完成信号 * SUCPF（G028.4）。

5）CNC 收到松开完成信号 * SUCPF 后，撤销主轴松开信号 SUCLP；PMC 程序将松开完成信号 * SUCPF 恢复至“1”。

6）PMC 程序输出辅助功能执行完成信号 FIN（G004.3），CNC 撤销 MF 信号输出。

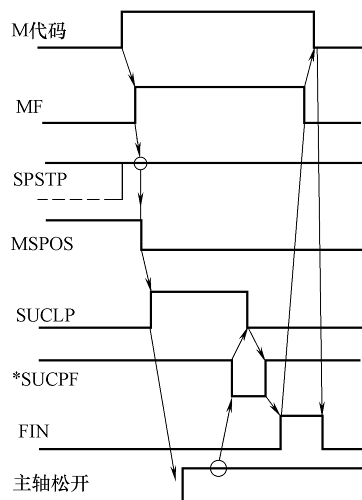


图 7-30　主轴定向撤销动作流程

7）PMC 程序将 FIN 信号置“0”，CNC 撤销 M 代码输出，结束 M 代码的执行过程。

3. PMC 程序

以 FS-0iTD 的模拟主轴控制为例，CNC 主轴定向及定向撤销控制的 CNC-PMC 接口信号，以及假设的主轴驱动器输入/输出、主轴制动器夹紧/松开输出与检测信号输入的地址如表 7-14 所示。



表 7-14　CNC 主轴定向 PMC 接口信号表

代　　号	名　　称	类　　别	PMC 地址	备　注
DEN	分配结束	CNC-PMC 接口信号输入	F001.3	"1"坐标轴运动结束
MF	M 代码选通	CNC-PMC 接口信号输入	F007.0	"1"M 代码输出有效
M00 ~ M31	M 代码	CNC-PMC 接口信号输入	F010 ~ F013	32 位二进制 M 代码
SCLP	主轴夹紧指令	CNC-PMC 接口信号输入	F038.0	1：主轴夹紧；0：无效
SUCLP	主轴松开指令	CNC-PMC 接口信号输入	F038.1	1：主轴松开；0：无效
MSPOSA	主轴定位生效	CNC-PMC 接口信号输入	F039.0	1：主轴定位；0：速度控制
ZP1	主轴定向完成	CNC-PMC 接口信号输入	F094.0	1：主轴定向完成
P1	主轴停止	主轴驱动器信号输入	X16.0	参考地址
P3	主驱动报警	主轴驱动器信号输入	X16.2	参考地址
S36	主轴夹紧	机床信号输入	X16.6	参考地址
S37	主轴松开	机床信号输入	X16.7	参考地址
FIN	辅助功能结束	CNC-PMC 接口信号输出	G004.3	M/S/T/B 执行完成
* SUCPF	主轴松开完成	CNC-PMC 接口信号输出	G028.4	0：已松开；1：未松开
* SCPF	主轴夹紧完成	CNC-PMC 接口信号输出	G028.5	0：已夹紧；1：未夹紧
SPSTP	主轴停止确认	CNC-PMC 接口信号输出	G028.6	1：主轴停止；0：旋转中
* SSTP	主轴停止	CNC-PMC 接口信号输出	G029.6	1：S 转速输出；0：输出为 0
KM30	主轴驱动器 ON	主电源通断控制输出	Y8.0	参考地址
Y37	主轴制动器	主轴制动器输出	Y8.7	0：夹紧；1：松开

如果 CNC 参数 PRM4960 设定的主轴定向控制代码为 M19，参数 PRM4960 设定的撤销主轴定向控制代码为 M20，按照主轴定向、定向撤销控制要求所设计的 PMC 程序如图 7-31 所示。

当 CNC 执行加工程序中的主轴定向或定向撤销（M19 或 M20）指令时，PMC 首先向 CNC 发送主轴停止信号 * SSTP（G029.6），撤销 CNC 的主轴转速模拟量输出、确保主轴停止旋转。当主轴停止后，驱动器的主轴停止输入 X16.0 将为"1"，PMC 向 CNC 发送主轴停止确认信号 SPSTP（G028.6），使 CNC 由速度控制切换至闭环位置控制模式（M19），或者，由闭环位置控制切换至速度控制模式（M20）。

当 CNC 执行 M19 指令时，主轴闭环位置控制生效、状态信号 MSPOS（F039.0）为"1"，主轴制动器松开输出 Y8.7，可直接通过 CNC 输出的主轴松开 SUCLP（F038.1）、夹紧 SCLP（F038.0）信号控制通断。当 CNC 执行 M20 指令或处于速度控制模式时，主轴定位有效状态信号 MSPOS（F039.0）为"0"，主轴总是处于松开状态。

程序中的主轴松开完成信号 * SUCPF（G028.4）和夹紧完成信号 * SCPF（G028.5）的处理方法如下：

1）主轴松开。当主轴制动器松开到位后，松开检测信号输入 X16.7 = 1，F038.1&X16.7& R306.0 的运算结果将为"1"，取反后的状态"0"可作为 CNC 的主轴松开完成信号 * SUCPF（G028.4）输出。当 CNC 接收到 * SUCPF 信号后，将自动使主轴松开信号 SUCLP（F038.1）复位至状态"0"，从而使 F038.1&X16.7& R306.0 的运算结果为"0"，取反后的状态"1"可将松开完成信号 * SUCPF 输出恢复为"1"。这样便可满足 CNC 对松开完成信号 * SUCPF 的应答要求。

2）主轴夹紧。主轴夹紧完成信号 * SCPF（G028.5）的处理方法与主轴松开类似，它以 CNC 夹紧控制信号 SCLP（F038.0）、夹紧检测开关输入 X16.0 及 M19/M20 有效信号 R306.0 的"与"运算结果 F038.0&X16.6& R306.0 取反后的状态进行控制。

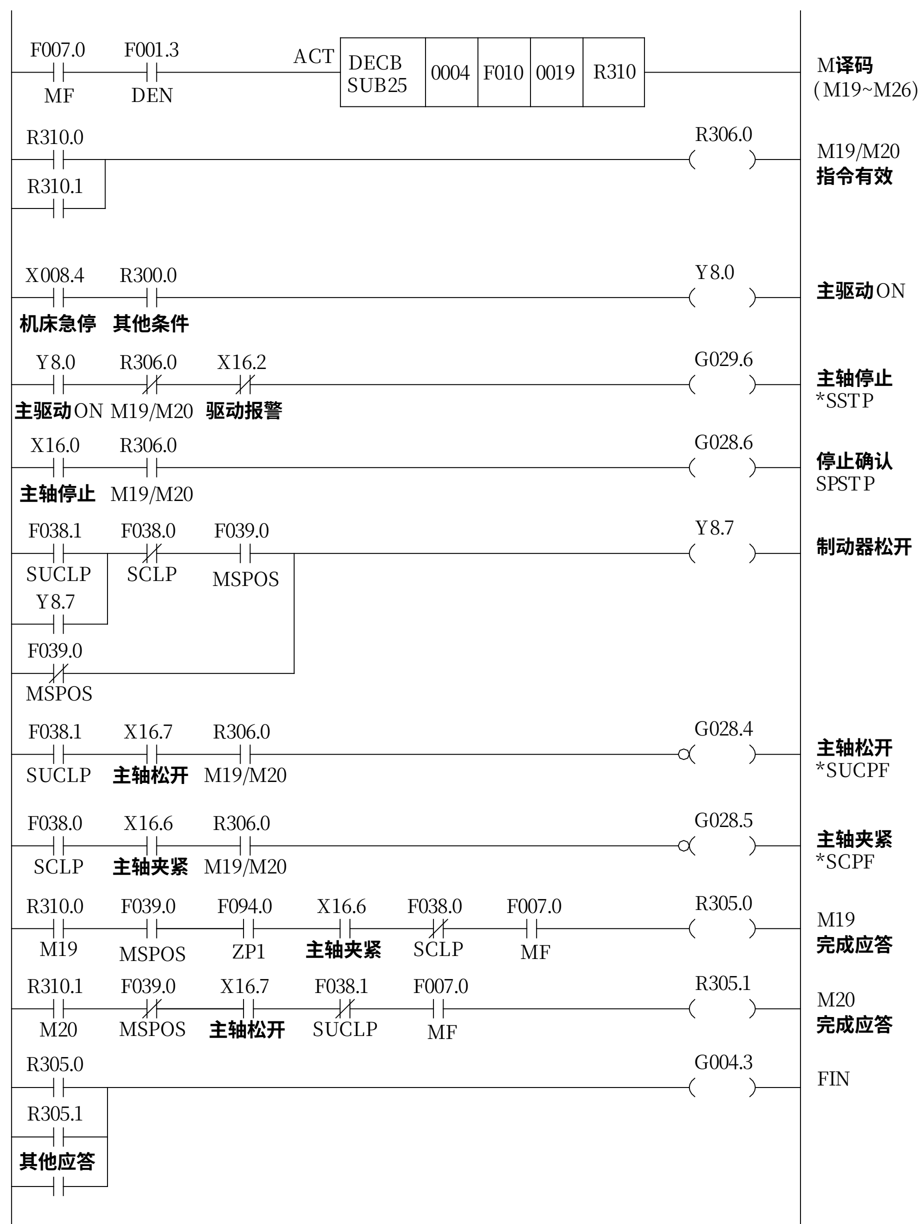


图 7-31　CNC 主轴定向/定向撤销控制程序

M19 定向完成应答信号 R305.0 在主轴定位生效（F039.0＝1）、定向位置到达（F094.0＝1）、主轴夹紧（X16.6＝1）、夹紧应答完成（F038.0＝0）后为“1”；M20 定向撤销应答信号 R305.1 在主轴位置控制撤销（F039.0＝0）、主轴松开（X16.7＝1）、松开应答完成（F038.1＝0）后为“1”。M19 或 M20 执行完成后，PMC 可向 CNC 输出辅助功能执行完成信号 FIN（G004.3），结束 M19 执行过程。

7.4.6　FS-0iTD 主轴定位程序典例

FS-0iTD 不但可通过 CNC 控制主轴定向，而且还能使用 CNC 控制的主轴定位功能。根



据实际需要，FS-0iTD 的 CNC 主轴定位可选择任意位置定位和固定位置定位两种方式，前者的定位位置通过 C 轴指定，故称 C 轴定位；后者的定位位置通过 M 代码指定，故称 M 代码定位。两者的控制要求和 PMC 程序的设计方法如下。

1. C 轴定位

（1） 功能与要求

C 轴定位的主轴定位位置可通过加工程序中的 C 轴编程指令任意指定。C 轴定位需要在主轴定向完成后才能进行，定位功能的撤销也需要使用专门的 M 代码（CNC 参数 PRM4961 设定）指令。

C 轴定位指令的编程格式与其他坐标轴运动指令相同，它可通过“G00 C□□□”指令来生效主轴定位功能和选择定位位置、定位方向，地址 C 实际有效的输入范围为 -359.999°～359.999°，但由于位置检测编码器的分辨率为 1024P/r，通过 CNC 的 4 倍频处理后，实际能够控制的定位精度为 360°/4×1024 =0.088°。

定位指令 G00 C□□□可采用绝对或增量编程，对于 G 代码体系 A，绝对/增量定位的位置分别用地址 C/H 指令；对于 G 代码体系 B 和 C，绝对/增量定位可通过 G90/G91 指令选择，编程地址统一使用 C。如设定 CNC 参数 PRM1008.0 =0、PRM1008.1 =1，还可生效捷径定位功能。

（2） PMC 程序设计

C 轴定位实质上是在主轴定向基础上，对主轴定位位置进行的调整，定位通过改变 CNC 位置给定、利用主轴闭环位置调整功能自动实现。

CNC 执行 C 轴定位指令时，如主轴位置控制状态信号 MSPOS（F039.0）及主轴停止确认信号 SPSTP（G028.6）为“1”，便可自动输出主轴松开 SUCLP（F038.1）、主轴夹紧 SCLP（F038.0）信号，并完成定位。因此，在 PMC 程序上，只需要进行主轴松开和夹紧的控制，并按主轴定向同样的要求，提供主轴松开完成信号 *SUCPF（G028.4）及夹紧完成信号 *SCPF（G028.5），而无须进行 M 代码译码、应答等处理。

C 轴定位的控制要求可直接通过图 7-31 所示的主轴定向控制 PMC 程序实现，无须另行设计 PMC 程序。

2. M 代码定位功能

M 代码一般用于部分圆周等分位置的主轴分度定位，它可通过 1～255 个连续的 M 代码，来选择定位位置并进行定位；在 FANUC 中文手册上，该功能又称“半固定角度定位”。

与主轴定向一样，用于主轴定位控制的 M 代码，在加工程序中需要使用独立的程序段；CNC 的进给保持、试运行、机床锁住等操作，不能中断已启动的 CNC 主轴定位动作，它们需要在定位完成后才能生效；程序重新启动、辅助功能锁住对主轴定位的 M 代码无效。

用于主轴定位点选择和 CNC 定位控制的起始 M 代码、M 代码数量（定位点数量）、定位点间隔角度、定位转向等，均可通过 CNC 参数的设定选择，相关参数如下。

PRM4950.1（IDM）：M 代码定位转向，“0”为正、“1”为负。

PRM4950.6（ESI）：M 代码数量选择，设定 0 时为 6 个；设定 1 时最大可为 256 个，数量由参数 PRM4964 设定。

PRM4962：主轴定位的 M 代码起始值。

PRM4963：定位点间隔角度，输入范围为 0°～60°。

PRM4964：PRM4950.6 =1 时的 M 代码数量，输入范围为 0 ~255，设定 0 时为 6 个。

例如，当设定 PRM4962 = 50、PRM4963 =30、PRM4950.6 =0（或 PRM4964 =0、6）时，辅助功能 M50 ~ M55 将被定义为 CNC 主轴定位指令，执行 M50、M51、…、M55，可分别将主轴定位到 30°、60°、…、180°位置。

M 代码定位可根据需要，通过 CNC 参数 PRM4950.7（IMB）的设定，选择 A 和 B 两种不同的定位方式。

PRM4950.7（IMB）= 0：仅进行主轴定位（方式 A）。执行 M 代码定位指令前，需要先通过 CNC 参数 PRM4960 设定的 M 代码，完成主轴定向；主轴定位撤销需要通过 CNC 参数 PRM4961 设定的 M 代码实现（与主轴定向撤销通用）。

PRM4950.7（IMB）= 1：执行 M 代码定位指令，可同时完成主轴定向、主轴定位和定位撤销动作（方式 B）。定位方式 B 有效时，M 代码定位既可在主轴定向完成后进行，也可直接在主轴速度控制模式下完成；主轴定位完成后，还可自动撤销主轴位置控制、恢复主轴速度控制模式。

3. PMC 程序设计要求

（1）定位方式 A

选择 M 代码定位方式 A 时，主轴定位及定位撤销需要通过主轴定向（PRM4960 设定）、M 代码定位（PRM4962/PRM4964 等设定）、定位撤销（PRM4961 设定，与主轴定向撤销通用）3 个不同的 M 代码实现。主轴定向及定位撤销的 M 代码的动作流程、PMC 程序设计要求可参见前述。

M 代码定位的动作流程如图 7-32 所示。CNC 执行 M 代码定位指令时，需要向 PMC 发送 32 位二进制代码和 M 代码修改信号 MF；主轴定位完成后，需要通过 PMC 的辅助功能完成信号 FIN，结束 M 代码指令的执行过程。

当 CNC 输出主轴定位 M 代码后，如主轴已完成定向并处于位置控制状态、信号 MSPOS（F039.0）为“1”，且主轴停止确认信号 SPSTP（G028.6）为“1”，则与主轴定向同样，依次进行发送主轴松开信号、确认主轴松开、主轴定位、输出夹紧信号、确认主轴夹紧等动作；在 PMC 程序上，则需要进行松开主轴、发送松开/夹紧完成信号等动作的控制。

M 代码定位的位置可变，故定位完成后，CNC 不能输出定位位置到达信号；但如 CNC 的主轴夹紧信号 SCLP（F038.0）输出为“1”，代表主轴定位已完成。因此，PMC 程序中的辅助功能完成信号 FIN（G004.3），应在主轴定位有效（F039.0 =1）、主轴夹紧完成（X16.6 =1）、夹紧应答完成（F038.0 =0）后输出。

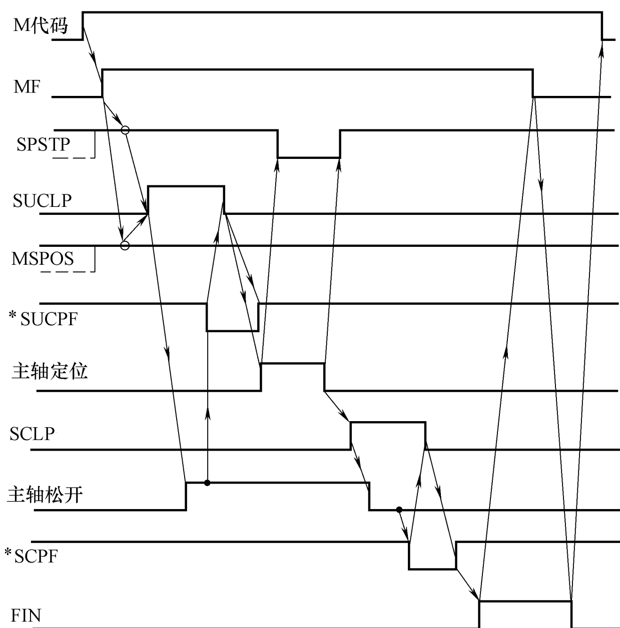


图 7-32　方式 A 的 M 代码定位动作流程



（2）定位方式 B

当设定 CNC 参数 PRM4950.7（IMB） = 1，选择 M 代码定位方式 B 时，执行 M 代码定位指令，可同时完成主轴定向、主轴定位和定位撤销动作。因此，采用定位方式 B 时，既无须在定位前进行主轴定向，也无须在定位完成后，通过定向撤销指令取消位置控制模式。

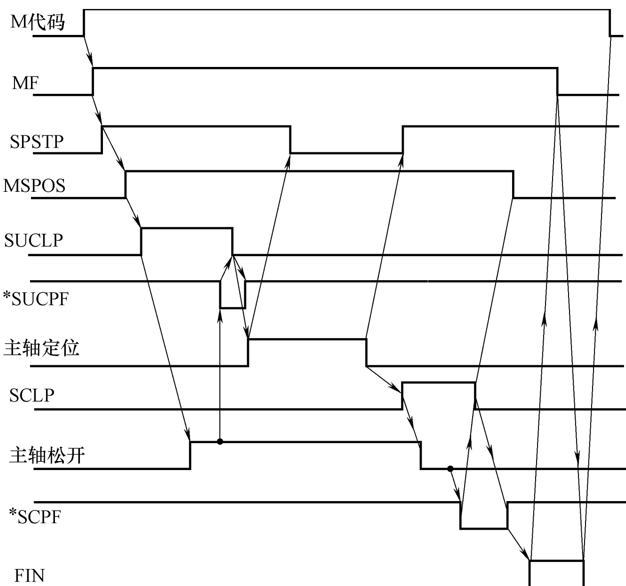


图 7-33　方式 B 的 M 代码定位动作流程

方式 B 的 M 代码定位动作流程如图 7-33 所示。CNC 执行 M 代码定位指令时，同样可向 PMC 发送 32 位二进制代码和 M 代码修改信号 MF；主轴定位完成后，需要通过 PMC 的辅助功能完成信号 FIN，结束 M 代码指令的执行过程。

方式 B 的主轴定位 M 代码输出后，首先必须通过 PMC 程序立即停止主轴旋转；当主轴停止后，向 CNC 发送停止确认信号 SPSTP（G028.6），使 CNC 切换至闭环位置控制模式，状态信号 MSPOS（F039.0）为“1”。随后，CNC 将发送主轴松开信号 SUCLP，PMC 可执行主轴制动器动作；主轴松开后，PMC 向 CNC 发送松开完成信号 * SUCPF。

主轴松开一旦完成，CNC 将控制主轴以定向转速，一次性完成从主轴定向到指定位置定位的全部动作。定位位置到达后，CNC 将输出主轴夹紧信号 SCLP，PMC 程序应进行主轴制动器的夹紧动作，使主轴保持在定位位置上。主轴夹紧完成后，PMC 向 CNC 发送夹紧完成信号 * SCPF。

CNC 一旦收到 PMC 的夹紧完成信号 * SCPF 后，将取消夹紧信号 SCLP 输出；同时，直接撤销闭环位置控制、重新回到速度控制模式；主轴的定位位置依靠制动器保持。此后，只要松开主轴制动器，便可进行正常的旋转。

4. PMC 程序

以模拟主轴控制为例，如 CNC 的主轴定向、定位参数设定如下：

PRM4950.6（ESI）=0，用于定位的 M 代码数量为 6 个；

PRM4960 =19，主轴定向代码为 M19；

PRM4961 =20，主轴定向、定位撤销代码为 M20；

PRM4962 =50，主轴定位控制代码为 M50 ~ M55；

PRM4963 =30，定位点间隔角度为 30°。

且主轴驱动器及机床的 I/O 信号如表 7-14 所示时，用于 CNC 主轴定向、M 代码定位和定向（定位）撤销的综合控制 PMC 程序如图 7-34、图 7-35 所示，程序既可用于只使用主轴定向的机床，也可用于 M 代码定位方式 A 或方式 B 控制。

图 7-34 的程序用于 CNC 主轴定向、定位和撤销主轴定向（定位）的 M 代码和主轴制动器松开/夹紧控制。

当 CNC 执行定向定位指令 M19/M20、M50 ~ M55 中任意一条指令时，R306.0 为“1”，PMC 即向 CNC 发送主轴停止信号 * SSTP（G029.6），撤销 CNC 主轴转速的模拟量输出，停止主轴。

主轴停止后，PMC 将通过来自主轴驱动器的停止信号输入 X16.0，向 CNC 发送主轴停止确认信号 SPSTP（G028.6），生效 CNC 的主轴定向、定位及撤销主轴定向（定位）控制功能。

主轴制动器的夹紧/松开控制分以下两种情况：

1）当 CNC 执行主轴定向、定位及定向（定位）撤销指令时，主轴闭环位置控制状态信号 MSPOS（F039.0）为“1”，制动器 Y8.7 可通过 CNC 输出的主轴松开 SUCLP（F038.1）、夹紧 SCLP（F038.0）信号控制通断。

2）CNC 执行 M20 指令，撤销 CNC 主轴定向（定位）功能、切换到速度控制模式后，主轴定位有效状态信号 MSPOS（F039.0）为“0”、Y8.7 保持“0”，主轴仍处于夹紧状态；直至 CNC 执行指令 M03/M04，才能使 Y8.7＝1，并保持松开状态。

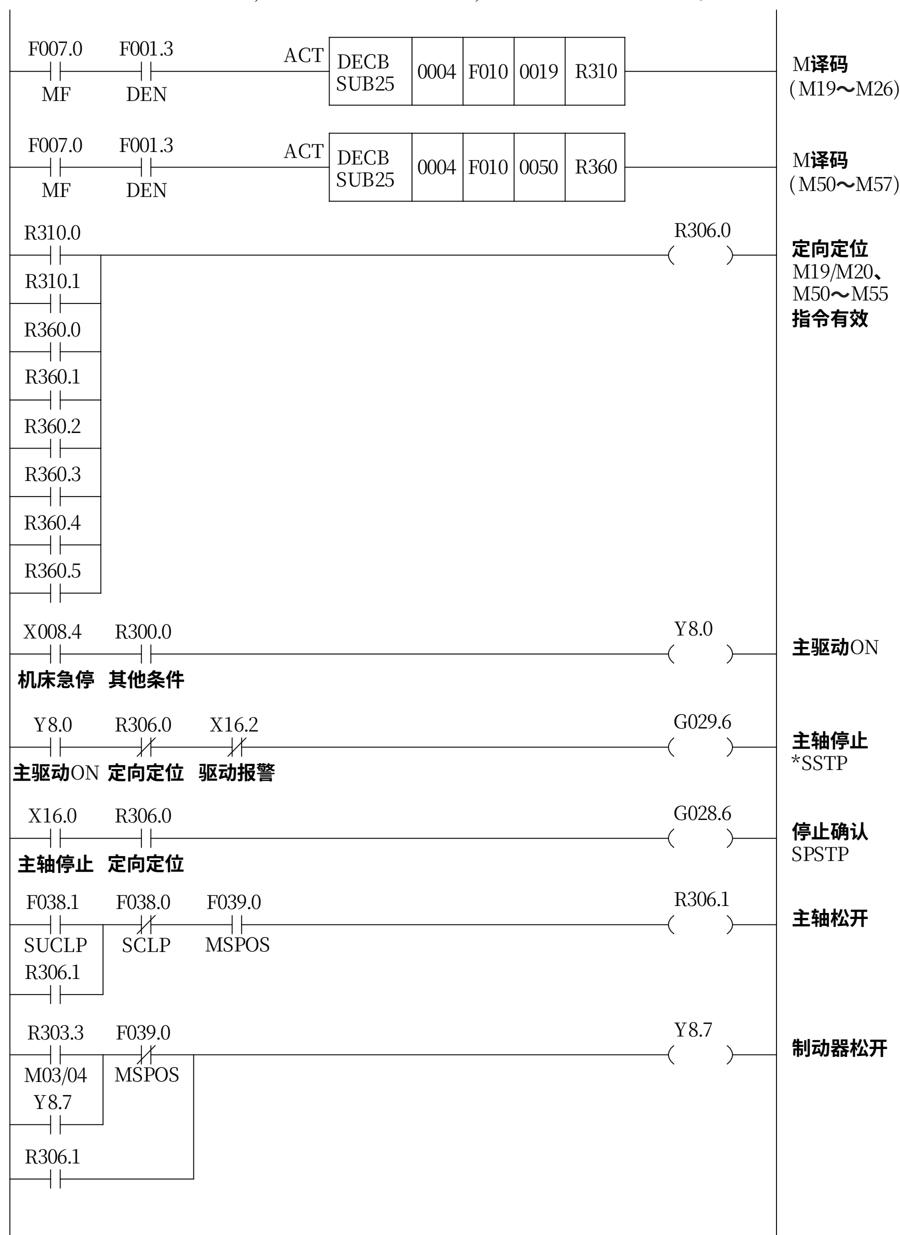


图 7-34　M 译码和松开/夹紧控制程序



图 7-35 的程序用于 CNC 主轴定向、定位和撤销主轴定向（定位）时的主轴松开/夹紧信号生成及 M 代码执行完成应答。

CNC 主轴定向、定位和撤销主轴定向（定位）时的主轴制动器松开/夹紧信号生成的方法，与前述的主轴定向控制相同。例如，当主轴制动器松开到位后，检测信号输入 X16.7 = 1，F038.1&X16.7& F306.0 的运算结果将为“1”，取反后的状态“0”可作为 CNC 的主轴松开完成信号 * SUCPF（G028.4）输出；因 CNC 在接收到 * SUCPF 信号后，可自动将 SUCLP 复位至“0”，从而使 F038.1&X16.7& R306.0 的运算结果将为“0”，取反后的状态可将松开完成信号 * SUCPF 恢复“1”；这样便可满足 CNC 对松开完成信号 * SUCPF 的应答要求。

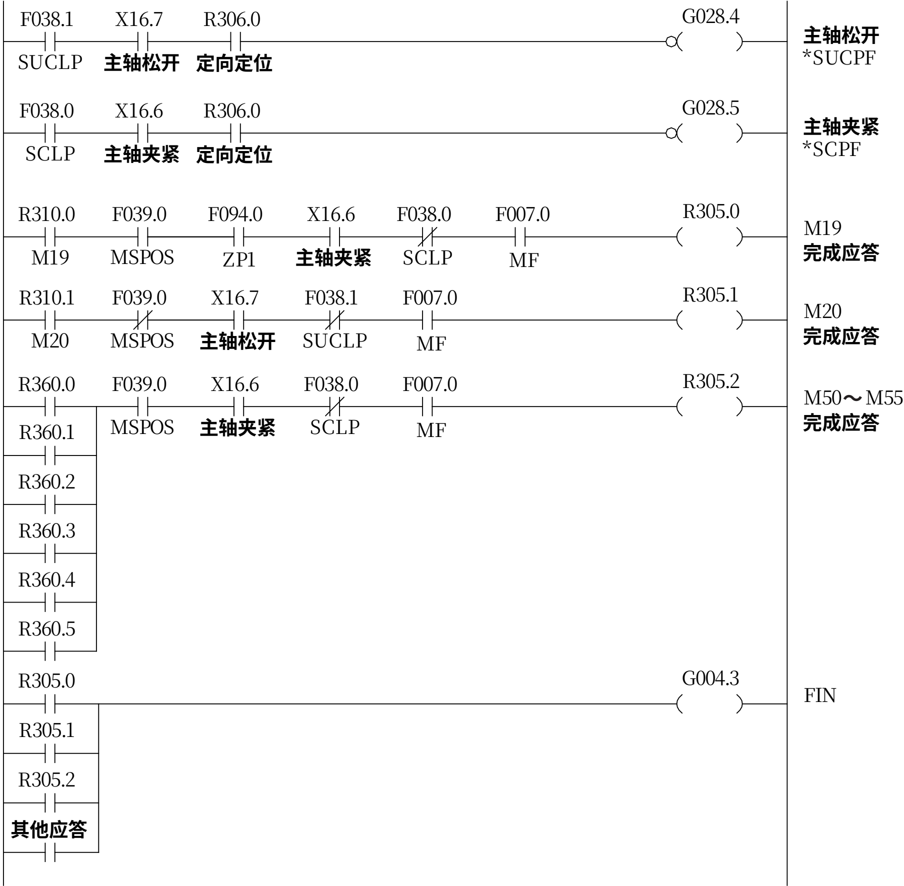


图 7-35　主轴松开/夹紧和 M 完成应答程序

CNC 主轴定向、定位和撤销主轴定向（定位）的 M 代码执行完成信号，需要分别产生。主轴定向指令 M19 的完成信号 R305.0，在主轴定位生效（F093.0 = 1）、定向位置到达（F094.0 = 1）、主轴制动器夹紧（X16.6 = 1）、CNC 夹紧信号撤销（F038.0 = 0）后生成。主轴定向（定位）撤销指令 M20 的完成信号 R305.1，则在主轴闭环位置控制模式撤销（F093.0 = 0）、主轴松开（X16.7 = 1）、CNC 松开信号撤销（F038.1 = 0）后生成。而主轴定位指令 M50 ~ M55 的完成信号 R305.2，则需要在主轴定位生效（F093.0 = 1）、主轴制动器夹紧（X16.6 = 1）、CNC 夹紧信号撤销（F038.0 = 0）后生成。

以上应答信号合并后，便可作为 CNC 主轴定向、定位和撤销主轴定向（定位）的辅助功能执行完成信号 FIN 输出，以结束 M 代码执行。

7.5 刚性攻螺纹程序典例

7.5.1 功能与要求

1. 基本要求

刚性攻螺纹是一种攻螺纹进给轴（通常为 *Z* 轴）与主轴转角保持同步的进给控制方式，在刚性攻螺纹方式下，进给轴将跟随主轴同步进给，当主轴进行加减速时，进给轴将自动调整进给速度，严格保证主轴每转所对应的进给量为 1 个螺距。

使用刚性攻螺纹功能的基本要求如下。

1）刚性攻螺纹既可用于串行主轴，也可用于模拟主轴。在多主轴控制的机床上，刚性攻螺纹功能第 1 主轴、第 2 主轴均可使用刚性攻螺纹功能。

2）选择刚性攻螺纹功能时，主轴必须安装有 1024P/r（或 512P/r）的位置检测编码器。

3）当主轴处于 M 代码定向、定位状态时，不能启动刚性攻螺纹功能。

4）在 CNC 程序指令刚性攻螺纹的 M 代码，将主轴从转速控制切换到刚性攻螺纹方式。刚性攻螺纹的 M 代码可通过参数 PRM5210 进行设定，FANUC 出厂默认为 M29。

5）空运行、机床锁住对刚性攻螺纹有效。空运行时 CNC 可自动调整主轴转速，使之与空运行进给速度匹配；机床锁住时，主轴与进给轴同时停止。通常而言，刚性攻螺纹过程中不应进行进给暂停或单程序操作。

6）在 CNC 加工程序中，刚性攻螺纹需要与攻螺纹固定循环指令（如 G84/G74）同时使用，指令的编程格式可通过 CNC 参数 PRM5200.0 的设定选择。设定 PRM5200.0＝0 时，需要在固定循环指令（如 G84/G74）前，指令刚性攻螺纹的 M 代码（如 M29）；如 PRM5200.0＝1，则攻螺纹固定循环（如 G84/G74）可直接指令刚性攻螺纹，刚性攻螺纹的 M 代码（如 M29）可由固定循环指令自动生成。对于后者，PMC 程序同样需要进行 M 代码执行完成应答处理，而且攻螺纹固定循环指令（如 G84/G74）不能再用于普通的柔性攻螺纹。

刚性攻螺纹的固定循环指令在不同系列的 CNC 上有所不同。对于 FS-0iMD，其固定循环指令为 G84/G74。在 FS-0iTD 上，则可以选择 FS-0 或 FS-10/11 两种编程格式，固定循环指令 G84/G88 或 G84.2，有关内容可参见本书作者编写的《FANUC-0iD 编程与操作》（机械工业出版社，2013 年 5 月）一书。

7）刚性攻螺纹控制需要设定较多的 CNC 参数，例如，加减速参数、主轴位置控制增益、允许误差等，有关内容可参见本书作者编写的《FANUC-0iD 调试与维修》（机械工业出版社，2013 年 11 月）一书。

2. 刚性攻螺纹启动控制

启动刚性攻螺纹的动作流程如图 7-36 所示，PMC 程序设计要求如下。

1）CNC 执行刚性攻螺纹指令，输出刚性攻螺纹的 M 代码和 MF 信号；同时，将刚性攻螺纹状态信号 RTAP（F076.3）置“1”，并撤销主轴使能信号 ENB（F001.4）。



2）PMC 接收到 CNC 发送的刚性攻螺纹 M 代码后，立即停止主轴旋转。为了避免刚性攻螺纹和传动级交换、主轴定向定位等功能的冲突，主轴的停止一般应通过撤销驱动器转向信号的方式实现。例如，对于串行主轴，可将转向信号 SFR/SRV（G70.4/G70.5）同时置为“0”；对于模拟主轴，可通过 PMC 程序将主轴正/反转输出信号同时置为“0”等。

3）当主轴完全停止后，通过 PMC 程序，向 CNC 发送刚性攻螺纹启动信号 RGTAP（G0061.0＝1），使 CNC 进入刚性攻螺纹同步控制模式。

4）通过 CNC 的刚性攻螺纹转向输出信号 RGSPP（F065.0）/RGSPM（F065.1），控制主轴正反转、起动主轴以刚性攻螺纹转速旋转。

5）PMC 向 CNC 发送 M 代码执行完成信号 FIN，结束刚性攻螺纹 M 代码执行过程；CNC 恢复主轴使能信号 ENB（F001.4）。

3. 刚性攻螺纹撤销控制

刚性攻螺纹需要通过 CNC 加工程序中的固定循环撤销指令 G80 或 CNC 复位撤销，撤销刚性攻螺纹的动作流程如图 7-37 所示，PMC 程序设计要求如下。

1）CNC 执行 G80 指令、撤销刚性攻螺纹方式，并将刚性攻螺纹状态输出信号 RTAP（F0076.3）、主轴使能信号 ENB（F0001.4）同时置“0”。

2）通过 PMC 程序，利用主轴正/反转控制信号同时置为“0”等方式，停止主轴旋转。

3）主轴完全停止后，利用 PMC 程序，撤销刚性攻螺纹信号 RGTAP（G0061.0），CNC 结束刚性攻螺纹。

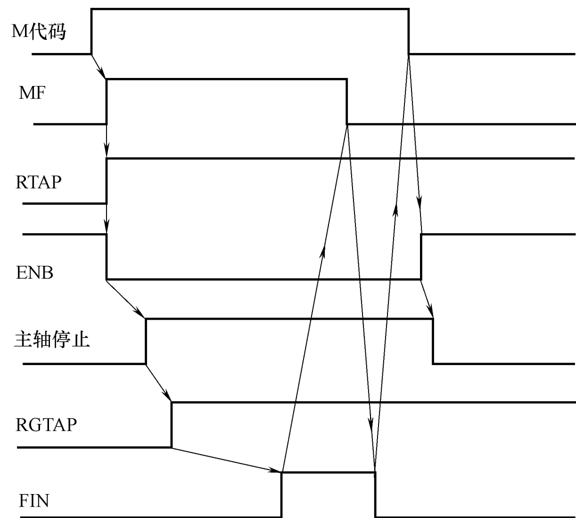


图 7-36　刚性攻螺纹的启动流程

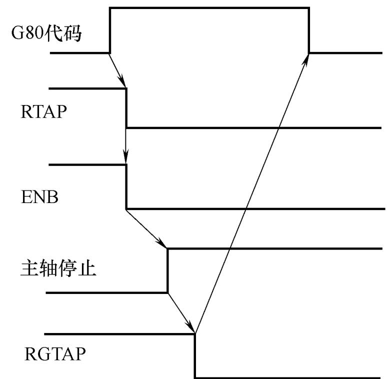


图 7-37　刚性攻螺纹的撤销流程

7.5.2　模拟主轴程序典例

1. PMC 信号

在选择模拟主轴控制功能的 CNC 上，刚性攻螺纹时的主轴控制需要利用 PMC 程序，通过对外部主轴驱动器的控制实现，与此相关的 CNC-PMC 接口信号及假设的主轴驱动器输入/输出信号输入的地址如表 7-15 所示。

表 7-15　刚性攻螺纹 PMC 输入/输出信号表

代　　号	名　　称	类　　别	PMC 地址	备　注
RST	CNC 复位	CNC-PMC 接口信号输入	F001.1	“1”CNC 复位
DEN	分配结束	CNC-PMC 接口信号输入	F001.3	“1”坐标轴运动结束
ENB	主轴使能	CNC-PMC 接口信号输入	F001.4	1:主轴转速输出允许
MF	M 代码选通	CNC-PMC 接口信号输入	F007.0	“1”M 代码输出有效
M00 ~ M31	M 代码	CNC-PMC 接口信号输入	F010 ~ F013	32 位二进制 M 代码
RGSPP	主轴正转	CNC-PMC 接口信号输入	F065.0	1:刚性攻螺纹主轴正转
RGSPM	主轴反转	CNC-PMC 接口信号输入	F065.1	1:刚性攻螺纹主轴反转
RTAP	刚性攻螺纹生效	CNC-PMC 接口信号输入	F076.3	1:刚性攻螺纹生效
P1	主轴停止	主轴驱动器信号输入	X16.0	参考地址
P2	主轴转速到达	主轴驱动器信号输入	X16.1	参考地址
P3	主驱动报警	主轴驱动器信号输入	X16.2	参考地址
FIN	辅助功能结束	CNC-PMC 接口信号输出	G004.3	M/S/T/B 执行完成
RGTAP	刚性攻螺纹启动	CNC-PMC 接口信号输出	G061.0	1:启动刚性攻螺纹
KM30	主轴驱动器 ON	主电源通断控制输出	Y8.0	参考地址
KA31	主轴正转	主轴驱动器控制输出	Y8.1	参考地址
KA32	主轴反转	主轴驱动器控制输出	Y8.2	参考地址

2. PMC 程序

根据以上输入/输出信号及刚性攻螺纹的动作流程和控制要求，所设计的模拟主轴刚性攻螺纹 PMC 程序如图 7-38、图 7-39 所示，该程序可直接用于数控镗铣加工机床的速度控制和刚性攻螺纹控制。但是，对于需要同时使用刚性攻螺纹与主轴定位、主轴换档等功能的机床（如加工中心等），程序中的主轴停止信号 * SSTP、正/反转控制信号 Y8.1/Y8.2，需要根据主轴换档、主轴定位控制要求，参照本章前述，增加相应的控制条件；同时，在 PMC 程序中还需要增加相关的主轴换档、主轴定位等控制程序。

图 7-38 所示的程序用于模拟主轴的刚性攻螺纹的 M 译码与刚性攻螺纹启动、撤销控制。

程序中的 R300.1、R300.2、R701.0 分别为译码后的 M03、M04、M29 状态信号。CNC 执行刚性攻螺纹指令时，M29 状态信号 R701.0 为“1”，此时，可撤销 M03 或 M04 状态信号 R300.1 或 R300.2，并通过后述的程序，将 PMC 输出到主轴驱动器的正反转控制信号 Y8.1/Y8.2 同时撤销，使主轴停止。

R701.1 和 R701.3 是通过 CNC 刚性攻螺纹生效信号 RTAP 上升沿、下降沿，所生成的刚性攻螺纹启动和撤销脉冲信号。当 CNC 执行刚性攻螺纹指令时，将输出 M29 代码和刚性攻螺纹生效信号 RTAP，R701.0 和 F076.3 均为“1”，此时，如主轴停止信号 X016.0 输入为“1”，便可生成刚性攻螺纹启动脉冲 R701.1，使刚性攻螺纹启动信号 RGTAP 为“1”。当 CNC 撤销刚性攻螺纹操作时，刚性攻螺纹生效信号 RTAP 将为“0”，但状态信号 R701.0 保持为“1”，此时，如主轴停止信号 X016.0 输入为“1”，便可生成刚性攻螺纹撤销脉冲 R701.3，将刚性攻螺纹启动信号 RGTAP 置“0”。此外，CNC 的复位操作（F001.1 = 1）也可直接撤销刚性攻螺纹启动信号 RGTAP。





图 7-38　模拟主轴刚性攻螺纹启动和撤销程序

刚性攻螺纹启动信号 RGTAP 为“1”后，一般需要经过 T14 的 M29 执行延时（为 250ms 左右），产生 M29 完成应答信号 FIN，结束 CNC 的 M29 指令。

图 7-39 所示的程序用于外部主轴驱动器控制和 M 代码完成应答。驱动器的主轴正反转控制信号 Y8.1/Y8.2，在速度控制时，由 M03/M04 指令控制；刚性攻螺纹启动后，由 CNC 的刚性攻螺纹转向输出信号 RGSPP（F065.0）/RGSPM（F065.1）控制；在刚性攻螺纹启动的 M29 处理阶段和撤销处理阶段，Y8.1/Y8.2 可通过 R300.1 和 R300.2 同时为“0”，以及

主轴使能信号 F001.4 = 0，控制主轴停止。

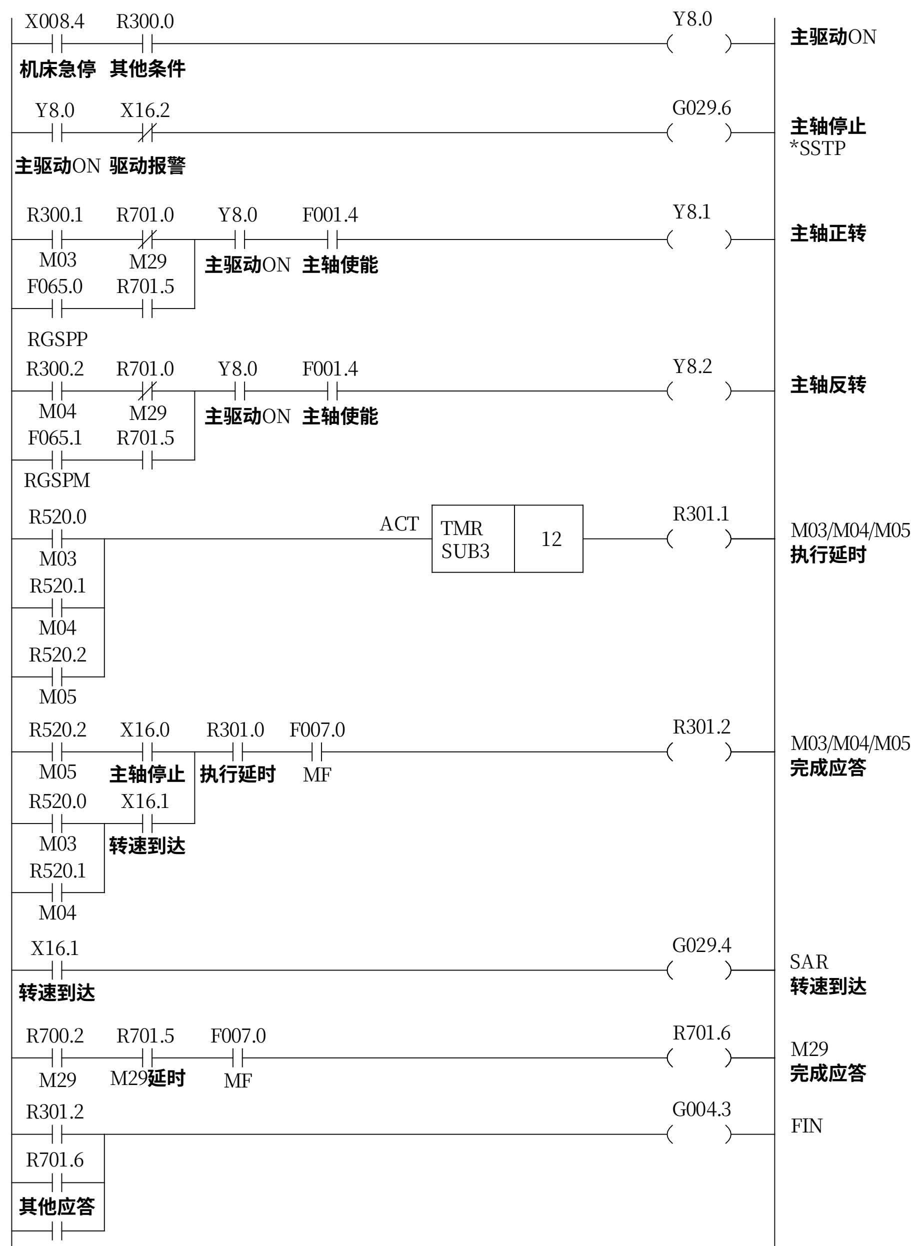


图 7-39　模拟主轴驱动器控制和 M 应答程序

主轴速度控制的 M03、M04、M05 应答程序与 7.2 节主轴速度控制程序相同，可参见前述的说明。

7.5.3　串行主轴程序典例

1. PMC 信号

在使用 FANUC 串行主轴控制功能的 CNC 上，主轴驱动器可通过 CNC-PMC 的接口信号



直接进行控制，与刚性攻螺纹相关的 CNC-PMC 接口信号地址如表 7-16 所示。

2. PMC 程序

串行主轴刚性攻螺纹的 PMC 程序设计的基本思路与模拟主轴相同。由于串行主轴驱动器的控制信号、状态信号可直接通过 CNC-PMC 的接口传输，因此，模拟主轴控制时的主轴驱动器起动输出 Y8.0，需要以 CNC-PMC 接口信号串行主轴急停 * ESPA（G071.1）及主轴驱动使能 MRDYA（G070.7）替代；主轴正/反转控制输出 Y8.1/Y8.2，需要以串行主轴正/反转接口信号 SRVA（G070.4）/SFRA（G070.5）替代。同样，模拟主轴控制时的驱动器报警输入信号 X16.2，需要以串行主轴报警接口信号 ALMA（F045.0）替代；主轴停止输入信号 X16.0，需要以串行主轴停止接口信号 SSTA（F045.1）替代；转速到达输入信号 X16.1，需要以串行主轴转速到达接口信号 SARA（F045.3）替代等。

表 7-16　刚性攻螺纹 PMC 输入/输出信号表

代　号①	名　称	类　别	PMC 地址	备　注
DEN	分配结束	CNC-PMC 接口信号输入	F001.3	“1”坐标轴运动结束
ENB	主轴使能	CNC-PMC 接口信号输入	F001.4	1:主轴转速输出允许
MF	M 代码选通	CNC-PMC 接口信号输入	F007.0	“1”M 代码输出有效
M00 ~ M31	M 代码	CNC-PMC 接口信号输入	F010 ~ F013	32 位二进制 M 代码
ALMA	主轴报警	串行主轴状态信号输入	F045.0	1:报警;0:正常
SSTA	主轴停止	串行主轴状态信号输入	F045.1	1:主轴转速为 0
SARA	主轴转速到达	串行主轴状态信号输入	F045.3	1:主轴转速与指令转速同
ORARA	主轴定位完成	串行主轴状态信号输入	F045.7	1:定位完成
RGSPP	主轴正转	CNC-PMC 接口信号输入	F065.0	1:刚性攻螺纹主轴正转
RGSPM	主轴反转	CNC-PMC 接口信号输入	F065.1	1:刚性攻螺纹主轴反转
RTAP	刚性攻螺纹生效	CNC-PMC 接口信号输入	F076.3	1:刚性攻螺纹生效
FIN	辅助功能结束	CNC-PMC 接口信号输出	G004.3	M/S/T/B 执行完成
SAR	主轴转速到达	CNC-PMC 接口信号输出	G029.4	1:实际转速与指令转速同
RGTAP	刚性攻螺纹启动	CNC-PMC 接口信号输出	G061.0	1:启动刚性攻螺纹
SRV A	主轴正转	串行主轴控制信号输出	G070.4	00/11:主轴停止;01:正转;10:反转
SFR A	主轴反转	串行主轴控制信号输出	G070.5	
MRDY A	主轴驱动使能	串行主轴控制信号输出	G070.7	1:主轴驱动使能
* ESP A	主轴急停	串行主轴控制信号输出	G071.1	0:主轴急停

① 代号后缀“A”，为第 1 主轴信号，其他信号同。

根据刚性攻螺纹的动作流程和控制要求，串行主轴刚性攻螺纹的 PMC 程序如图 7-40、图 7-41 所示，程序同样可直接用于数控镗铣加工机床的速度控制和刚性攻螺纹控制。但是，对于需要同时使用刚性攻螺纹与主轴定位、主轴换档等功能的机床（如加工中心等），程序中的主轴停止信号 * SSTP、正/反转控制信号 SRV/SFR，也需要根据主轴换档、主轴定位控制要求，参照本章前述，增加相应的控制条件；同时，在 PMC 程序中还需要增加相关的主轴换档、主轴定位等控制程序。

图 7-40 所示的程序用于串行主轴的刚性攻螺纹的 M 译码与刚性攻螺纹启动、撤销控制。由于主轴处于 M 代码定向、定位状态时，不能启动刚性攻螺纹功能。因此，产生刚性攻螺纹启动脉冲的信号 R702.0，需要增加主轴定位完成信号 F045.7 = 0 的互锁条件。



图 7-40　串行主轴刚性攻螺纹启动和撤销程序

图 7-41 所示的程序用于串行主轴驱动器控制和 M 代码完成应答，程序只是以串行主轴的 CNC-PMC 接口，代替了模拟主轴的外部驱动器控制信号。



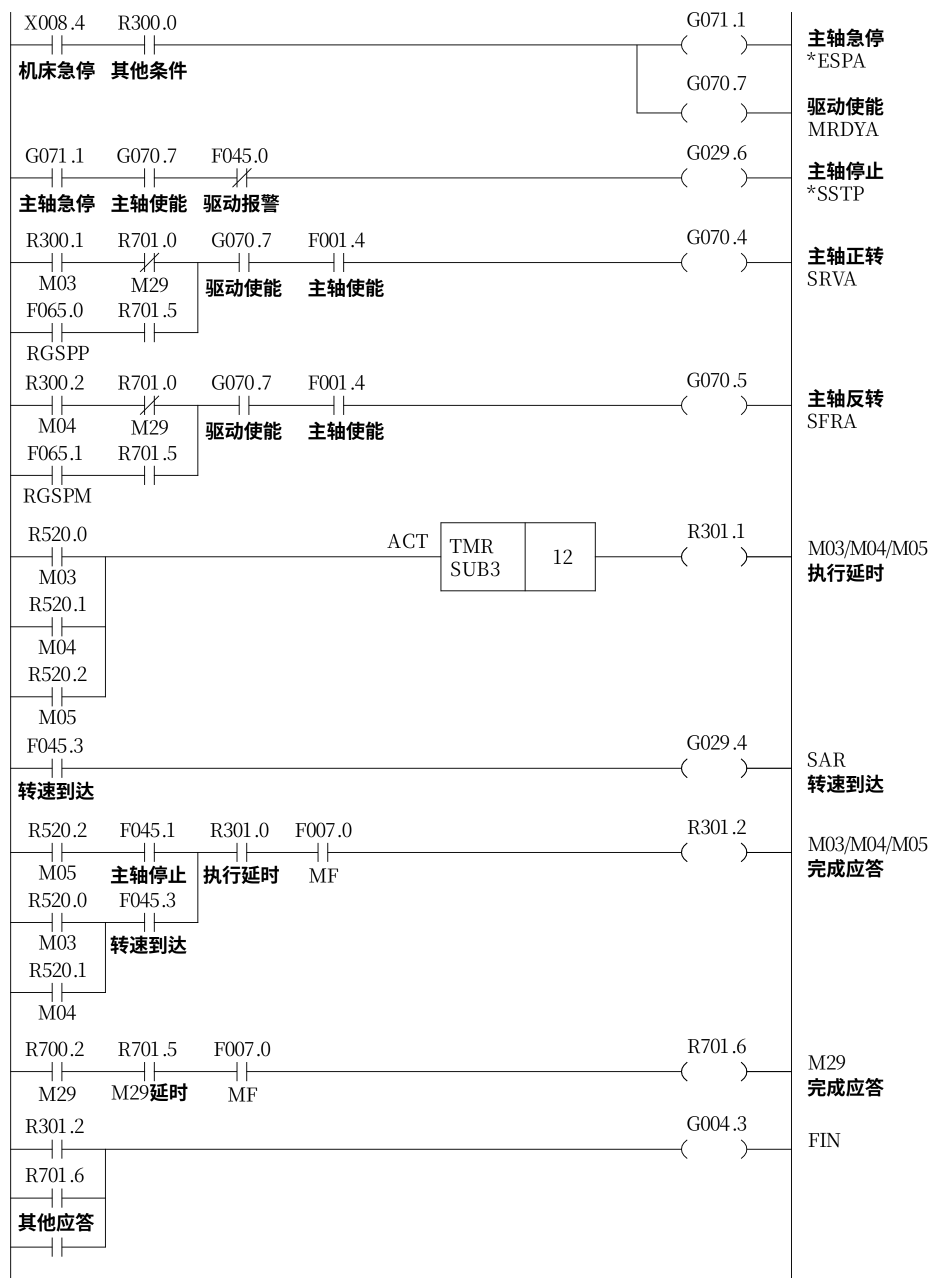


图 7-41　串行主轴驱动器控制和 M 应答程序

附录

FS-0iD 接口信号总表

FS-0iD 接口信号总表见表 A-1 ~ 表 A-3。

表 A-1　固定地址高速输入信号

地　　址	信 号 名 称	信 号 代 号	
		FS-0iTD	FS-0iMD
X004.0	*X* 轴测量位置到达或多级跳步信号 7	XAE/SKIP7	XAE
X004.1	*Z* 轴测量位置到达或多级跳步信号 8	ZAE/SKIP8	—
	Y 轴测量位置到达	—	YAE
X004.2	刀具偏置值写入或多级跳步信号 2	+MIT1/SKIP2	—
	Z 轴测量位置到达	—	ZAE
X004.3	刀具偏置值写入或多级跳步信号 3	-MIT1/SKIP3	—
X004.4	刀具偏置值写入或多级跳步信号 4	+MIT2/SKIP4	—
X004.5	刀具偏置值写入或多级跳步信号 5	-MIT2/SKIP5	—
X004.6	PMC 控制轴跳步信号或多级跳步信号 6	ESKIP/SKIP6	ESKIP
X004.7	跳步信号	SKIP	SKIP
X008.4	急停信号	*ESP	*ESP
X009.0 ~ X009.3	回参考点减速信号	*DEC1 ~ *DEC4	*DEC1 ~ *DEC4

表 A-2　PMC→CNC 输出信号表

地　　址	信 号 名 称	信号代号	FS-0iTD	FS-0iMD
G000/G001	外部数据输入(数据信号)	ED0 ~ ED15	○	○
G002.0 ~ G002.6	外部数据输入(地址)	EA0 ~ EA6	○	○
G002.7	外部数据输入(读取)	ESTB	○	○
G004.3	辅助功能执行完成信号	FIN	○	○
G004.4	M 代码完成信号 2	MFIN2	○	○
G004.5	M 代码完成信号 3	MFIN3	○	○
G005.0	M 代码完成信号	MFIN	○	○
G005.1	外部数据输入完成信号	EFIN	—	○
G005.2	S 代码完成信号	SFIN	○	○
G005.3	T 代码完成信号	TFIN	○	○
G005.4	B 代码完成信号	BFIN	○	—
G005.6	辅助功能锁住信号	AFL	○	○
G005.7	B 代码完成信号	BFIN	—	○
G006.0	程序重新启动信号	SRN	○	○
G006.2	手动绝对值信号	*ABSM	○	○
G006.4	倍率取消信号	OVC	○	○
G006.6	跳步信号	SKIPP	○	—
G007.1	启动互锁信号	STLK	○	—
G007.2	循环启动信号	ST	○	○



（续）

地　　址	信 号 名 称	信号代号	FS-0iTD	FS-0iMD
G007.4	存储型行程极限 3 撤销信号	RLSOT3	○	—
G007.5	跟随控制信号	*FLWU	○	○
G007.6	存储型行程极限选择信号	EXLM	○	○
G007.7	存储型行程极限撤销信号	RLSOT	—	○
G008.0	互锁信号	*IT	○	○
G008.1	切削程序段启动互锁信号	*CSL	—	○
G008.3	程序段启动互锁信号	*BSL	○	○
G008.4	急停信号	*ESP	○	○
G008.5	进给保持信号	*SP	○	○
G008.6	复位和倒带信号	RRW	○	○
G008.7	外部复位信号	ERS	○	○
G009.0～G009.4	工件号检索信号	PN1/2/4/8/16	○	○
G010/G011	手动倍率信号	*JV0～*JV15	○	○
G012	进给倍率信号	*FV0～*FV7	○	○
G014.0/G014.1	快进倍率信号	ROV1/ROV2	○	○
G016.7	F1 位进给选择信号	F1D	—	○
G018.0～G018.3	第 1、2、3 手轮进给轴选择信号	HS1A～HS1D	○	○
G018.4～G018.7		HS2A～HS2D	○	○
G019.0～G019.3		HS3A～HS3D	○	○
G019.4/G019.5	手轮或增量进给量选择信号	MP1/MP2	○	○
G019.7	手动快进信号	RT	○	○
G023.5	到位检测无效信号	NOINPS	○	○
G024.0～G025.5	扩展工件号检索信号	EPN0～EPN13	○	○
G025.7	扩展工件号检索启动信号	EPNS	○	○
G027.0	第 1、2、3 主轴选择信号	SWS1	○	○
G027.1		SWS2	○	○
G027.2		SWS3	○	○
G027.3	第 1、2、3 主轴停止信号	*SSTP1	○	○
G027.4		*SSTP2	○	○
G027.5		*SSTP3	○	○
G027.7	Cs 轴切换信号	CON	○	○
G028.1/G028.2	实际传动级信号	GR1/GR2	○	○
G028.4	主轴松开完成信号	*SUCPF	○	—
G028.5	主轴夹紧完成信号	*SCPF	○	—
G028.6	主轴停止完成信号	SPSTP	○	—
G028.7	第 2 位置编码器选择信号	PC2SLC	○	—
G029.0	齿轮档位选择信号	GR21	○	○
G029.4	主轴速度到达信号	SAR	○	○
G029.5	主轴定向信号	SOR	○	○
G029.6	主轴停止信号	*SSTP	○	○
G030	主轴速度倍率信号	SOV0～SOV7	○	○
G032.0～G033.3	主轴速度指令输入信号	R01I～R12I	○	○
G033.5	主轴速度指令极性选择信号	SGN	○	○
G033.6		SSIN	○	○
G033.7	PMC 主轴速度输出控制信号	SIND	○	○
G034.0～G035.3	第 2 主轴速度指令信号	R01I2～R12I2	○	○
G035.5	第 2 主轴速度指令极性选择信号	SGN2	○	○
G035.6		SSIN2	○	○

（续）

地　址	信号名称	信号代号	FS-0iTD	FS-0iMD
G035.7	第 2 主轴速度 PMC 控制信号	SIND2	○	○
G036.0 ~ G037.3	第 3 主轴速度指令信号	R01I3 ~ R12I3	○	○
G037.5	第 3 主轴速度指令极性选择信号	SGN3	○	○
G037.6		SSIN3	○	○
G037.7	第 3 主轴速度 PMC 控制信号	SIND3	○	○
G038.2	主轴同步控制信号	SPSYC	○	○
G038.3	主轴相位同步控制信号	SPPHS	○	○
G038.6	B 轴松开完成信号	* BECUP	—	
G038.7	B 轴夹紧完成信号	* BECLP	—	
G039.0 ~ G039.5	刀具偏置号选择信号	OFN0 ~ OFN5	○	—
G039.6	工件坐标系偏置写入选择信号	WOQSM	○	—
G039.7	刀具偏置值写入选择信号	GOQSM	○	—
G040.5	主轴测量选择信号	S2TLS	○	—
G040.6	位置记录信号	PRC	○	—
G040.7	工件坐标系偏置写入信号	WOSET	○	—
G041.0 ~ G041.3	手轮第 1、2、3 中断轴选择信号	HS1IA ~ HS1ID	○	○
G041.4 ~ G041.7		HS2IA ~ HS2ID	○	○
G042.0 ~ G042.3		HS3IA ~ HS3ID	—	○
G042.7	直接运行选择信号	DMMC	○	○
G043.0 ~ G043.2	CNC 操作方式选择信号	MD1/MD2/MD4	○	○
G043.5	DNC 运行选择信号	DNCI	○	○
G043.7	手动回参考点选择信号	ZRN	○	○
G044.0、G045	跳过任选程序段信号	BDT1、BDT2 ~ 9	○	○
G044.1	机床锁住信号	MLK	○	○
G046.1	单程序段信号	SBK	○	○
G046.3 ~ G046.6	存储器保护信号	KEY1 ~ KEY4	○	○
G046.7	空运行信号	DRN	○	○
G047.0 ~ G047.6	刀具组号选择信号	TL01 ~ TL64	○	—
G047.0 ~ G048.0		TL01 ~ TL256	—	○
G048.5	刀具跳过信号	TLSKP	○	○
G048.6	刀具更换复位信号	TLRSTI	—	○
G048.7	刀具更换复位信号	TLRST	○	○
G049.0 ~ G050.1	刀具寿命管理信号	* TLV0 ~ * TLV9	—	○
G053.0	累计计数器启动信号	TMRON	○	○
G053.3	用户宏程序中断信号	UINT	○	○
G053.6	误差检测信号	SMZ	○	—
G053.7	倒角信号	CDZ	○	—
G054、G055	用户宏程序输入信号	UI000 ~ UI015	○	○
G058.0	程序输入外部启动信号	MINP	○	○
G058.1	外部阅读启动信号	EXRD	○	○
G058.2	外部阅读/输出停止信号	EXSTP	○	○
G058.3	外部输出启动信号	EXWT	○	○
G060.7	尾架保护信号	* TSB	○	—
G061.0	刚性攻螺纹信号	RGTAP	○	○
G061.4、G061.5	刚性攻螺纹主轴选择信号	RGTSP1	○	—
G062.1	LCD 自动关闭功能取消信号	* CRTOF	○	○
G062.6	刚性攻螺纹回退启动信号	RTNT	—	○
G063.5	倾斜轴控制撤销信号	NOZAGC	○	○



（续）

地　　址	信 号 名 称	信号代号	FS-0iTD	FS-0iMD
G066.0	VRDY OFF 报警取消信号	IGNVRY	○	○
G066.1	外部操作键输入选择信号	ENBKY	○	○
G066.4	回退信号	RTRCT	○	○
G066.7	操作键代码读取信号	EKSET	○	○
G067.6	硬拷贝停止请求信号	HCABT	○	○
G067.7	硬拷贝请求信号	HCREQ	○	○
G070.0	中/低速档转矩限制信号(串行主轴)	TLMLA	○	○
G070.1	高/准高速档转矩限制信号(串行主轴)	TLMHA	○	○
G070.3/G070.2	实际传动级信号(串行主轴)	CTH1A/CTH2A	○	○
G070.4	主轴正转信号(串行主轴)	SRVA	○	○
G070.5	主轴反转信号(串行主轴)	SFRA	○	○
G070.6	定向准停信号(串行主轴)	ORCMA	○	○
G070.7	机床准备好信号(串行主轴)	MRDYA	○	○
G071.0	报警复位信号(串行主轴)	ARSTA	○	○
G071.1	急停信号(串行主轴)	*ESPA	○	○
G071.2	主轴选择信号(串行主轴)	SPSLA	○	○
G071.3	Y/△切换完成信号(串行主轴)	MCFNA	○	○
G071.4	软启动取消信号(串行主轴)	SOCAN	○	○
G071.5	速度环积分调节信号(串行主轴)	INTGA	○	○
G071.6	输出Y/△切换请求信号(串行主轴)	RSLA	○	○
G071.7	Y/△切换状态检测信号(串行主轴)	RCHA	○	○
G072.0	定位启动信号(串行主轴)	INDXA	○	○
G072.1	定位方向指令信号(串行主轴)	ROTAA	○	○
G072.2	捷径定位控制信号(串行主轴)	NRROA	○	○
G072.3	差分控制指令信号(串行主轴)	DEFMDA	○	○
G072.4	模拟倍率控制信号(串行主轴)	OVRA	○	○
G072.5	外部增量定位信号(串行主轴)	INCMDA	○	○
G072.6	Y/△切换 MCC 状态信号(串行主轴)	MFNHGA	○	○
G072.7	主轴定向 MCC 状态信号(串行主轴)	RCHHGA	○	○
G073.0	磁传感器定向指令(串行主轴)	MORCMA	○	○
G073.1	从动轴运行信号(串行主轴)	SLVA	○	○
G073.2	电枢关断信号(串行主轴)	MPOFA	○	○
G073.4	断线检测撤销信号	DSCNA	○	○
G074.0	中/低速档转矩限制信号(第 2 主轴)	TLMLB	○	○
G074.1	高/准高速档转矩限制指令信号(第 2 主轴)	TLMHB	○	○
G074.3/G074.2	实际传动级信号(第 2 主轴)	CTH1B/CTH2B	○	○
G074.4	CCW 指令信号(第 2 主轴)	SRVB	○	○
G074.5	CW 指令信号(第 2 主轴)	SFRB	○	○
G074.6	定向准停信号(第 2 主轴)	ORCMB	○	○
G074.7	机床准备好信号(第 2 主轴)	MRDYB	○	○
G075.0	报警复位信号(第 2 主轴)	ARSTB	○	○
G075.1	急停信号(第 2 主轴)	*ESPB	○	○
G075.2	主轴选择信号(第 2 主轴)	SPSLB	○	○
G075.3	Y/△切换完成信号(第 2 主轴)	MCFNB	○	○
G075.4	软启动取消信号(第 2 主轴)	SOCNB	○	○
G075.5	速度积分控制信号(第 2 主轴)	INTGB	○	○
G075.6	Y/△切换请求信号(第 2 主轴)	RSLB	○	○
G075.7	Y/△切换状态检测信号(第 2 主轴)	RCHB	○	○

（续）

地　　址	信 号 名 称	信号代号	FS-0iTD	FS-0iMD
G076.0	定位启动信号(第 2 主轴)	INDXB	○	○
G076.1	定位方向指令信号(第 2 主轴)	ROTAB	○	○
G076.2	捷径定位控制信号(第 2 主轴)	NRROB	○	○
G076.3	差分控制指令信号(第 2 主轴)	DEFMDB	○	○
G076.4	模拟倍率指令信号(第 2 主轴)	OVRB	○	○
G076.5	外部增量定位信号(第 2 主轴)	INCMDB	○	○
G076.6	Y/△切换 MCC 状态信号(第 2 主轴)	MFNHGB	○	○
G076.7	主轴定向 MCC 状态信号(第 2 主轴)	RCHHGB	○	○
G077.0	磁传感器主轴定向指令(第 2 主轴)	MORCMB	○	○
G077.1	从动运行指令信号(第 2 主轴)	SLVB	○	○
G077.2	电枢关断信号(第 2 主轴)	MPOFB	○	○
G077.4	断线检测撤销信号(第 2 主轴)	DSCNB	○	○
G078.0 ~ G079.3	主轴停止位置指令信号	SHA00 ~ SHA11	○	○
G080.0 ~ G081.3		SHB00 ~ SHB11	○	○
G091.0 ~ G091.3	组号指定	SRLNI0 ~ SRLNI3	○	○
G092.0	I/O-Link 确认信号	IOLACK	○	○
G092.1	I/O-Link 指定信号	IOLS	○	○
G092.2	Power Mate 读/写进行中信号	BGION	○	○
G092.3	Power Mate 读/写报警信号	BGIALM	○	○
G092.4	Power Mate 后台忙信号	BGEN	○	○
G096.0 ~ G096.6	快速进给倍率信号	* HROV0 ~ * HROV6	○	○
G096.7	快速进给倍率选择信号	HROV	○	○
G098	操作键代码信号	EKC0 ~ EKC7	○	○
G100	手动进给轴及方向选择信号	+ J1 ~ + J4	○	○
G101.0 ~ G101.3	外部减速信号 2	* + ED21 ~ * + ED24	○	○
G102	手动进给轴及方向选择信号	- J1 ~ - J4	○	○
G103.0 ~ G103.3	外部减速信号 2	* - ED21 ~ * - ED24	○	○
G104	存储型行程限位信号	+ EXL1 ~ + EXL4	○	○
G105		- EXL1 ~ - EXL4	○	○
G106	镜像信号	MI1 ~ MI4	○	○
G107.0 ~ G107.3	外部减速信号 3	* + ED31 ~ * + ED34	○	○
G108	独立的机床锁住信号	MLK1 ~ MLK4	○	○
G109.0 ~ G109.3	外部减速信号 3	* - ED31 ~ * - ED34	○	○
G110	行程极限外部设定信号	+ LM1 ~ + LM4	—	○
G112		- LM1 ~ - LM4	—	○
G114	超程信号	* + L1 ~ * + L4	○	○
G116		* - L1 ~ * - L4	○	○
G118	外部减速信号	* + ED1 ~ * + ED4	○	○
G120		* - ED1 ~ * - ED4	○	○
G124.0 ~ G124.3	轴脱开控制信号	DTCH1 ~ DTCH4	○	○
G125	异常负载检测取消信号	IUDD1 ~ IUDD4	○	○
G126	伺服关闭信号	SVF1 ~ SVF4	○	○
G127.0 ~ G127.3	Cs 轴精细加/减速功能撤销信号	CDF1 ~ CDF4	○	○
G130	独立的互锁信号	* IT1 ~ * IT4	○	○
G132.0 ~ G132.3	独立的方向互锁信号	+ MIT1 ~ + MIT4	—	○
G134.0 ~ G134.3		- MIT1 ~ - MIT4	—	○
G136	PMC 轴控制选择信号	EAX1 ~ EAX4	○	○
G138	简单同步轴选择信号	SYNC1 ~ SYNC4	○	○



（续）

地　　址	信 号 名 称	信号代号	FS-0iTD	FS-0iMD
G140	简单同步手动进给轴选择信号	SYNCJ1 ~ SYNCJ4	—	○
G142.0	辅助功能结束信号(PMC 控制轴通道 1)	EFINA	○	○
G142.1	累积零位检测信号(PMC 控制轴通道 1)	ELCKZA	○	○
G142.2	缓冲禁止信号(PMC 控制轴通道 1)	EMBUFA	○	○
G142.3	程序段停信号(PMC 控制轴通道 1)	ESBKA	○	○
G142.4	伺服关断信号(PMC 控制轴通道 1)	ESOFA	○	○
G142.5	轴控制指令读取信号(PMC 控制轴通道 1)	ESTPA	○	○
G142.6	复位信号(PMC 控制轴通道 1)	ECLRA	○	○
G142.7	轴控制指令读取信号(PMC 控制轴通道 1)	EBUFA	○	○
G143.0 ~ G143.6	轴控制指令信号(PMC 控制轴通道 1)	EC0A ~ EC6A	○	○
G143.7	程序段停禁止信号(PMC 控制轴通道 1)	EMSBKA	○	○
G144、G145	轴控制进给速度信号(PMC 控制轴通道 1)	EIF0A ~ EIF15A	○	○
G146 ~ G149	轴控制数据信号(PMC 控制轴通道 1)	EID0A ~ EID31A	○	○
G150.0、G150.1	PMC 控制轴快速进给倍率信号	ROV1E ~ ROV2E	○	○
G150.5	PMC 控制轴倍率取消信号	OVCE	○	○
G150.6	PMC 控制轴手动快速进给选择信号	RTE	○	○
G150.7	PMC 控制轴空运行信号	DRNE	○	○
G151	PMC 控制轴进给速度倍率信号	* FV0E ~ * FV7E	○	○
G154.0	辅助功能结束信号(PMC 控制轴通道 2)	EFINB	○	○
G154.1	累积零检测信号(PMC 控制轴通道 2)	ELCKZB	○	○
G154.2	缓冲禁止信号(PMC 控制轴通道 2)	EMBUFB	○	○
G154.3	程序段停信号(PMC 控制轴通道 2)	ESBKB	○	○
G154.4	伺服关闭信号(PMC 控制轴通道 2)	ESOFB	○	○
G154.5	轴控制暂停信号(PMC 控制轴通道 2)	ESTPB	○	○
G154.6	复位信号(PMC 控制轴通道 2)	ECLRB	○	○
G154.7	轴控制指令读取信号(PMC 控制轴通道 2)	EBUFB	○	○
G155.0 ~ G155.6	轴控制指令信号(PMC 控制轴通道 2)	EC0B ~ EC6B	○	○
G155.7	程序段停信号(PMC 控制轴通道 2)	EMSBKB	○	○
G156、G157	轴控制进给速度信号(PMC 控制轴通道 2)	EIF0B ~ EIF15B	○	○
G158 ~ G161	轴控制数据信号(PMC 控制轴通道 2)	EID0B ~ EID31B	○	○
G166.0	辅助功能结束信号(PMC 控制轴通道 3)	EFINC	○	○
G166.1	累积零位检测信号(PMC 控制轴通道 3)	ELCKZC	○	○
G166.2	缓冲禁止信号(PMC 控制轴通道 3)	EMBUFC	○	○
G166.3	程序段停信号(PMC 控制轴通道 3)	ESBKC	○	○
G166.4	伺服关断信号(PMC 控制轴通道 3)	ESOFC	○	○
G166.5	轴控制暂停信号(PMC 控制轴通道 3)	ESTPC	○	○
G166.6	复位信号(PMC 控制轴通道 3)	ECLRC	○	○
G166.7	轴控制指令读取信号(PMC 控制轴通道 3)	EBUFC	○	○
G167.0 ~ G167.6	轴控制指令信号(PMC 控制轴通道 3)	EC0C ~ EC6C	○	○
G167.7	程序段停禁止信号(PMC 控制轴通道 3)	EMSBKC	○	○
G168、G169	轴控制进给速度信号(PMC 控制轴通道 3)	EIF0C ~ EIF15C	○	○
G170 ~ G173	轴控制数据信号(PMC 控制轴通道 3)	EID0C ~ EID31C	○	○
G178.0	辅助功能结束信号(PMC 控制轴通道 4)	EFIND	○	○
G178.1	累积零检测信号(PMC 控制轴通道 4)	ELCKZD	○	○
G178.2	缓冲禁止信号(PMC 控制轴通道 4)	EMBUFD	○	○
G178.3	程序段停信号(PMC 控制轴通道 4)	ESBKD	○	○
G178.4	伺服关闭信号(PMC 控制轴通道 4)	ESOFD	○	○
G178.5	轴控制暂停信号(PMC 控制轴通道 4)	ESTBD	○	○

（续）

地　　址	信 号 名 称	信号代号	FS-0iTD	FS-0iMD
G178.6	复位信号(PMC 控制轴通道 4)	ECLRD	○	○
G178.7	轴控制指令读取信号(PMC 控制轴通道 4)	EBUFD	○	○
G179.0 ~ G179.6	轴控制指令信号(PMC 控制轴通道 4)	EC0D ~ EC6D	○	○
G179.7	程序段停禁止信号(PMC 控制轴通道 4)	EMSBKD	○	○
G180、G181	轴控制进给速度信号(PMC 控制轴通道 4)	EIF0D ~ EIF15D	○	○
G182 ~ G185	轴控制数据信号(PMC 控制轴通道 4)	EID0D ~ EID31D	○	○
G192	VRDYOFF 报警忽略信号(PMC 控制轴 1 ~ 4)	IGVRY1 ~ IGVRY4	○	○
G198	位置显示忽略信号(PMC 控制轴 1 ~ 4)	NPOS1 ~ NPOS4	○	○
G199.0	手轮 2 选择信号	IOLBH2	○	○
G199.1	手轮 3 选择信号	IOLBH3	○	○
G200	轴控制高级指令信号	EASIP1 ~ EASIP4	○	○
G274.4	Cs 轴坐标系建立请求信号	CSFI1	○	○
G349.0 ~ G349.3	伺服转速检测有效信号	SVSCK1 ~ SVSCK4	○	○
G359.0 ~ G359.3	各轴到位检测无效信号	NOINP1 ~ NOINP4	○	○

注：○：可以使用；—：不可使用。

表 A-3　CNC →PMC 输入信号说明表

地　　址	信 号 名 称	信号代号	FS-0iTD	FS-0iMD
F000.0	倒带信号	RWD	○	○
F000.4	进给暂停报警信号	SPL	○	○
F000.5	循环启动报警信号	STL	○	○
F000.6	伺服准备就绪信号	SA	○	○
F000.7	自动运行信号	OP	○	○
F001.0	报警信号	AL	○	○
F001.1	复位信号	RST	○	○
F001.2	电池报警信号	BAL	○	○
F001.3	分配结束信号	DEN	○	○
F001.4	主轴使能信号	ENB	○	○
F001.5	攻螺纹信号	TAP	○	○
F001.7	CNC 信号	MA	○	○
F002.0	英制输入信号	INCH	○	○
F002.1	快速进给信号	RPDO	○	○
F002.2	线速度恒定控制信号	CSS	○	○
F002.3	螺纹切削信号	THRD	○	○
F002.4	程序启动信号	SRNMV	○	○
F002.6	切削进给信号	CUT	○	○
F002.7	空运行方式确认信号	MDRN	○	○
F003.0	增量进给方式确认信号	MINC	○	○
F003.1	手轮进给方式确认信号	MH	○	○
F003.2	JOG 进给方式确认信号	MJ	○	○
F003.3	MDI 方式确认信号	MMDI	○	○
F003.4	DNC 方式确认信号	MRMT	○	○
F003.5	MEM 方式确认信号	MMEM	○	○
F003.6	EDIT 方式确认信号	MEDT	○	○
F003.7	示教方式确认信号	MTCHIN	○	○
F004.0、F005	跳过任选程序段确认信号	MBDT1、MBDT2 ~ 9	○	○
F004.1	所有轴机床锁住信号	MMLK	○	○
F004.2	手动绝对值信号	MABSM	○	○



（续）

地　　址	信 号 名 称	信号代号	FS-0iTD	FS-0iMD
F004.3	单程序段信号	MSBK	○	○
F004.4	辅助功能锁住信号	MAFL	○	○
F004.5	手动返回参考点信号	MREF	○	○
F007.0	M 代码选通信号	MF	○	○
F007.1	高速接口外部运行信号	EFD	—	○
F007.2	S 代码选通信号	SF	○	○
F007.3	T 代码选通信号	TF	○	○
F007.4	B 代码选通信号	BF	○	—
F007.7			—	○
F008.0	外部运行信号	EF	—	○
F008.4	M 代码选通信号 2	MF2	○	○
F008.5	M 代码选通信号 3	MF3	○	○
F009.4	M 译码输出信号	DM30	○	○
F009.5		DM02	○	○
F009.6		DM01	○	○
F009.7		DM00	○	○
F010 ~ F013	M 代码输出信号 1	M00 ~ M31	○	○
F014 ~ F015	M 代码输出信号 2	M200 ~ M215	○	○
F016 ~ F017	M 代码输出信号 3	M300 ~ M315	○	○
F022 ~ F025	S 代码输出信号	S00 ~ S31	○	○
F026 ~ F029	T 代码输出信号	T00 ~ T31	○	○
F030 ~ F033	B 代码输出信号	B00 ~ B31	○	○
F034.0 ~ F034.2	自动传动级选择信号	GR1O/2O/3O	—	○
F035.0	主轴报警信号	SPAL	○	○
F036.0 ~ F037.3	12 位 S 代码信号	R01O ~ R02O	○	○
F038.0	主轴夹紧信号	SCLP	○	—
F038.1	主轴松开信号	SUCLP	○	—
F038.2	主轴使能信号	ENB2	○	○
F038.3		ENB3	○	○
F039.0	主轴定位有效	MSPOS	○	○
F040、F041	实际主轴速度信号	AR0 ~ AR15	○	—
F044.1	Cs 轴切换完成信号	FSCSL	○	○
F044.2	主轴同步控制完成信号	FSPSY	○	○
F044.3	主轴相位同步控制完成信号	FSPPH	○	○
F044.4	主轴同步报警信号	SYCAL	○	○
F045.0	报警信号(第 1 串行主轴)	ALMA	○	○
F045.1	零速度信号(第 1 串行主轴)	SSTA	○	○
F045.2	速度检测信号(第 1 串行主轴)	SDTA	○	○
F045.3	速度到达信号(第 1 串行主轴)	SARA	○	○
F045.4	负载检测信号 1(第 1 串行主轴)	LDT1A	○	○
F045.5	负载检测信号 2(第 1 串行主轴)	LDT2A	○	○
F045.6	转矩限制信号(第 1 串行主轴)	TLMA	○	○
F045.7	定向结束信号(第 1 串行主轴)	ORARA	○	○
F046.0	Y/△切换信号(第 1 串行主轴)	CHPA	○	○
F046.1	主轴Y/△切换结束信号(第 1 主轴)	CFINA	○	○
F046.2	输出Y/△切换信号(第 1 主轴)	RCHPA	○	○
F046.3	输出Y/△切换结束信号(第 1 主轴)	RCFNA	○	○
F046.4	从动轴运动状态信号(第 1 主轴)	SLVSA	○	○

（续）

地　址	信号名称	信号代号	FS-0iTD	FS-0iMD
F046.5	主轴定向完成信号 1(第 1 主轴)	PORA2A	○	○
F046.6	主轴定向完成信号 2(第 1 主轴)	MORA1A	○	○
F046.7	主轴定向完成信号 3(第 1 主轴)	MORA2A	○	○
F047.0	位置编码零位信号(第 1 主轴)	PC1DTA	○	○
F047.1	增量定位信号(第 1 主轴)	INCSTA	○	○
F047.4	电枢关断信号(第 1 主轴)	EXOFA	○	○
F048.4	Cs 轴坐标系建立信号(第 1 主轴)	CSPENA	○	○
F049.0	报警信号(第 2 主轴)	ALMB	○	○
F049.1	零速度信号(第 2 主轴)	SSTB	○	○
F049.2	速度检测信号(第 2 主轴)	SDTB	○	○
F049.3	速度到达信号(第 2 主轴)	SARB	○	○
F049.4	负载检测信号 1(第 2 主轴)	LDT1B	○	○
F049.5	负载检测信号 2(第 2 主轴)	LDT2B	○	○
F049.6	转矩限制信号(第 2 主轴)	TLMB	○	○
F049.7	定向完成信号(第 2 主轴)	ORARB	○	○
F050.0	Y/△切换信号(第 2 主轴)	CHPB	○	○
F050.1	Y/△切换结束信号(第 2 主轴)	CFINB	○	○
F050.2	Y/△切换信号(第 2 主轴)	RCHPB	○	○
F050.3	Y/△切换结束信号(第 2 主轴)	RCFNB	○	○
F050.4	从动轴运动信号(第 2 主轴)	SLVSB	○	○
F050.5	主轴定向完成信号 1(第 2 主轴)	PORA2B	○	○
F050.6	主轴定向完成信号 2(第 2 主轴)	MORA1B	○	○
F050.7	主轴定向完成信号 3(第 2 主轴)	MORA2B	○	○
F051.0	编码器零位信号(第 2 主轴)	PC1DTB	○	○
F051.1	增量定位信号(第 2 主轴)	INCSTB	○	○
F051.4	电枢关断状态信号(第 2 主轴)	EXOFB	○	○
F053.0	操作键输入禁止信号	INHKY	○	○
F053.1	程序屏蔽显示方式信号	PRGDPL	○	○
F053.2	阅读/输出处理中信号	RPBSY	○	○
F053.3	阅读/输出报警信号	RPALM	○	○
F053.4	后台忙信号	BGEACT	○	○
F053.7	键代码读取结束信号	EKENB	○	○
F054、F055	用户宏程序输出信号	UO000 ~ UO015	○	○
F056 ~ F059		UO100 ~ UO131	○	○
F060.0	外部数据输入读取结束信号	EREND	○	○
F060.1	外部数据输入检索结束信号	ESEND	○	○
F060.2	外部数据输入检索取消信号	ESCAN	○	○
F061.0	*B* 轴松开信号	BUCLP	—	○
F061.1	*B* 轴夹紧信号	BCLP	—	○
F061.2	硬拷贝停止请求接受确认	HCAB2	○	○
F061.3	硬拷贝进行中信号	HCEXE	○	○
F062.0	AI 前瞻控制方式信号	AICC	—	○
F062.3	主轴 1 测量中信号	S1MES	○	—
F062.4	主轴 2 测量中信号	S2MES	○	—
F062.7	零件计数达到信号	PRTSF	○	○
F063.7	多边形同步信号	PSYN	○	—
F064.0	更换刀具信号	TLCH	○	○
F064.1	新刀具选择信号	TLNW	○	○



（续）

地　　址	信 号 名 称	信号代号	FS-0iTD	FS-0iMD
F064. 2	刀具切换信号	TLCHI	—	○
F064. 3	刀具寿命到达信号	TLCHB	—	○
F065. 0	主轴的转向信号	RGSPP	—	○
F065. 1		RGSPM	—	○
F065. 4	回退完成信号	RTRCTF	○	○
F066. 0	前瞻控制方式信号	G08MD	○	○
F066. 1	刚性攻螺纹回退结束信号	RTPT	—	○
F066. 5	小孔排屑循环处理中信号	PECK2	—	○
F070. 0 ~ F071	位置开关信号	PSW01 ~ PSW16	○	○
F072	软操作面板通用开关信号	OUT0 ~ OUT7	○	○
F073. 0	软操作面板信号（MD1）	MD1O	○	○
F073. 1	软操作面板信号（MD2）	MD2O	○	○
F073. 2	软操作面板信号（MD4）	MD4O	○	○
F073. 4	软操作面板信号（ZRN）	ZRNO	○	○
F075. 2	软操作面板信号（BDT）	BDTO	○	○
F075. 3	软操作面板信号（SBK）	SBKO	○	○
F075. 4	软操作面板信号（MLK）	MLKO	○	○
F075. 5	软操作面板信号（DRN）	DRNO	○	○
F075. 6	软操作面板信号（KEY1 ~ KEY4）	KEYO	○	○
F075. 7	软操作面板信号（ * SP）	SPO	○	○
F076. 0	软操作面板信号（MP1）	MP1O	○	○
F076. 1	软操作面板信号（MP2）	MP2O	○	○
F076. 3	刚性攻螺纹方式信号	RTAP	○	○
F076. 4	软操作面板信号（ROV1）	ROV1O	○	○
F076. 5	软操作面板信号（ROV2）	ROV2O	○	○
F077. 0	软操作面板信号（HS1A）	HS1AO	○	○
F077. 1	软操作面板信号（HS1B）	HS1BO	○	○
F077. 2	软操作面板信号（HS1C）	HS1CO	○	○
F077. 3	软操作面板信号（HS1D）	HS1DO	○	○
F077. 6	软操作面板信号（RT）	RTO	○	○
F078	软操作面板信号（ * FV0 ~ * FV7）	* FV0O ~ * FV7O	○	○
F079、F080	软操作面板信号（ * JV0 ~ * JV15）	* JV0O ~ * JV15O	○	○
F081. 0/2/4/6	软操作面板信号（ + J1 ~ + J4）	+ J1O ~ + J4O	○	○
F081. 1/3/5/7	软操作面板信号（-J1 ~ - J4）	- J1O ~ - J4O	○	○
F090. 0	伺服轴异常负载检测信号	ABTQSV	○	○
F090. 1	第 1 主轴异常负载检测信号	ABTSP1	○	○
F090. 2	第 2 主轴异常负载检测信号	ABTSP2	○	○
F094	返回参考点结束信号	ZP1 ~ ZP4	○	○
F096	返回第 2 参考位置结束信号	ZP21 ~ ZP24	○	○
F098	返回第 3 参考位置结束信号	ZP31 ~ ZP34	○	○
F100	返回第 4 参考位置结束信号	ZP41 ~ ZP44	○	○
F102	轴移动信号	MV1 ~ MV4	○	○
F104	到位信号	INP1 ~ INP4	○	○
F106	轴运动方向信号	MVD1 ~ MVD4	○	○
F108	镜像检测信号	MMI1 ~ MMI4	○	○
F110. 0 ~ F110. 3	轴脱开状态信号	MDTCH1 ~ 4	○	○
F112	分配结束信号（PMC 轴控制）	EADEN1 ~ 4	○	○
F114	转矩极限到达信号	TRQL1 ~ TRQL4	○	—



（续）

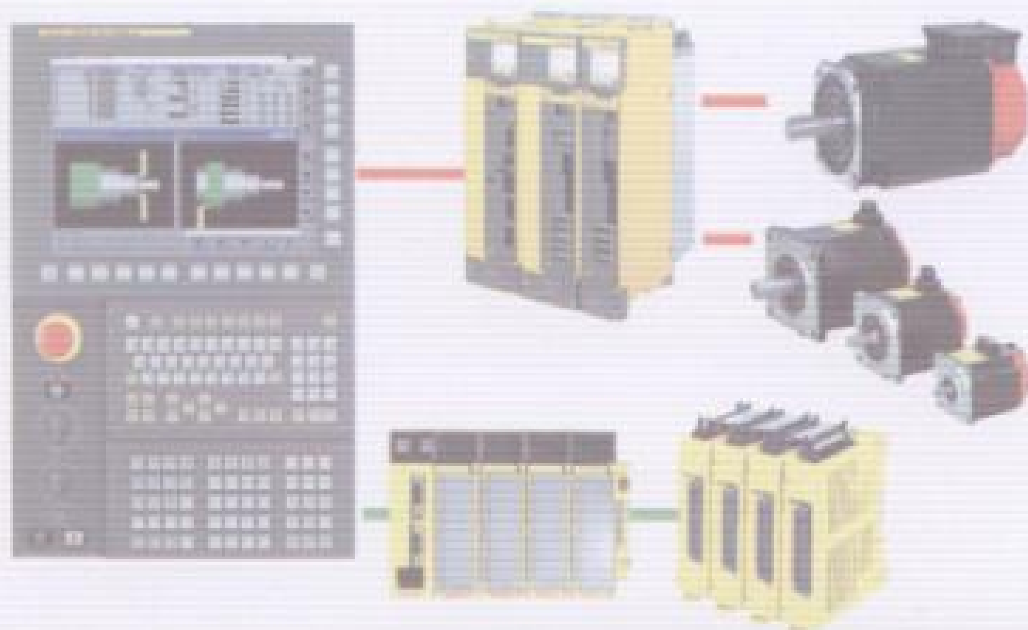
地　　址	信 号 名 称	信号代号	FS-0iTD	FS-0iMD
F120	参考点建立信号	ZRF1 ~ ZRF4	○	○
F122.0	高速跳转状态信号	HDO0	○	○
F124	行程限位到达信号	+OT1 ~ +OT4	—	○
F124.0 ~ F124.3	超程报警中信号	OTP! ~OTP4	○	○
F126	行程限位到达信号	-OT1 ~ -OT4	—	○
F129.5	PMC 控制轴 0% 倍率信号	EOV0	○	○
F129.7	PMC 控制轴选择状态信号	*EAXSL	○	○
F130.0	到位信号(PMC 轴通道 1)	EINPA	○	○
F130.1	跟随误差检测信号(PMC 轴通道 1)	ECKZA	○	○
F130.2	报警信号(PMC 轴通道 1)	EIALA	○	○
F130.3	辅助功能执行信号(PMC 轴通道 1)	EDENA	○	○
F130.4	轴移动信号(PMC 轴通道 1)	EGENA	○	○
F130.5	正向超程信号(PMC 轴通道 1)	EOTPA	○	○
F130.6	负向超程信号(PMC 轴通道 1)	EOTNA	○	○
F130.7	命令读取结束信号(PMC 轴通道 1)	EBSYA	○	○
F131.0	辅助功能选通信号(PMC 轴通道 1)	EMFA	○	○
F131.1	缓冲器满信号(PMC 轴通道 1)	EABUFA	○	○
F132、F142	辅助功能代码信号(PMC 轴通道 1)	EM11A ~ EM48A	○	○
F133.0	到位信号(PMC 轴通道 2)	EINPB	○	○
F133.1	跟随误差检测信号(PMC 轴通道 2)	ECKZB	○	○
F133.2	报警信号(PMC 轴通道 2)	EIALB	○	○
F133.3	辅助功能执行信号(PMC 轴通道 2)	EDENB	○	○
F133.4	轴移动信号(PMC 轴通道 2)	EGENB	○	○
F133.5	正向超程信号(PMC 轴通道 2)	EOTPB	○	○
F133.6	负向超程信号(PMC 轴通道 2)	EOTNB	○	○
F133.7	命令读取结束信号(PMC 轴通道 2)	EBSYB	○	○
F134.0	辅助功能选通信号(PMC 轴通道 2)	EMFB	○	○
F134.1	缓冲器满信号(PMC 轴通道 2)	EABUFB	○	○
F135、F145	辅助功能代码信号(PMC 轴通道 2)	EM11B ~ EM48B	○	○
F136.0	到位信号(PMC 轴通道 3)	EINPC	○	○
F136.1	跟随误差检测信号(PMC 轴通道 3)	ECKZC	○	○
F136.2	报警信号(PMC 轴通道 3)	EIALC	○	○
F136.3	辅助功能执行信号(PMC 轴通道 3)	EDENC	○	○
F136.4	轴移动信号(PMC 轴通道 3)	EGENC	○	○
F136.5	正向超程信号(PMC 轴通道 3)	EOTPC	○	○
F136.6	负向超程信号(PMC 轴通道 3)	EOTNC	○	○
F136.7	命令读取结束信号(PMC 轴通道 3)	EBSYC	○	○
F137.0	辅助功能选通信号(PMC 轴通道 3)	EMFC	○	○
F137.1	缓冲器满信号(PMC 轴通道 3)	EABUFC	○	○
F138、F148	辅助功能代码信号(PMC 轴通道 3)	EM11C ~ EM48C	○	○
F139.0	到位信号(PMC 轴通道 4)	EINPD	○	○
F139.1	零跟随误差检测信号(PMC 轴通道 4)	ECKZD	○	○
F139.2	报警信号(PMC 轴通道 4)	EIALD	○	○
F139.3	辅助功能执行信号(PMC 轴通道 4)	EDEND	○	○
F139.4	轴移动信号(PMC 轴通道 4)	EGEND	○	○
F139.5	正向超程信号(PMC 轴通道 4)	EOTPD	○	○
F139.6	负向超程信号(PMC 轴通道 4)	EOTND	○	○
F139.7	命令读取结束信号(PMC 轴通道 4)	EBSYD	○	○



（续）

地　　址	信 号 名 称	信号代号	FS-0iTD	FS-0iMD
F140.0	辅助功能选通信号(PMC 轴通道 4)	EMFD	○	○
F140.1	缓冲器满信号(PMC 轴通道 4)	EABUFD	○	○
F141、F151	辅助功能代码信号(PMC 轴通道 4)	EM11D ~ EM48D	○	○
F172.6	绝对编码器电池电压为零报警信号	PBATZ	○	○
F172.7	绝对编码器电池电压值低报警信号	PBATL	○	○
F177.0	I/OLink 从站选择信号	IOLNK	○	○
F177.1	从站外部读取开始信号	ERDIO	○	○
F177.2	从站读/写停止信号	ESTPIO	○	○
F177.3	从站外部写开始信号	EWTIO	○	○
F177.4	从站程序选择信号	EPRG	○	○
F177.5	从站宏变量选择信号	EVAR	○	○
F177.6	从站参数选择信号	EPARM	○	○
F177.7	从站诊断选择信号	EDGN	○	○
F178.0 ~ F178.3	组号输出信号	SRLN00 ~ SRLN03	○	○
F180.0 ~ F180.3	冲撞式回参考点矩极限到达信号	CLRCH1 ~ CLRCH4	○	○
F182.0 ~ F182.3	控制信号(PMC 轴控制)	EACNT1 ~ EACNT4	○	○
F274.4	Cs 轴坐标系报警信号	CSF01	○	○
F298.9 ~ 298.3	报警预测信号	TDFSV1 ~ TDFSV4	○	○
F349.0 ~ F349.3	伺服转速低报警信号	TSA1 ~ TSA4	○	○

注：○：可以使用；—：不可使用。

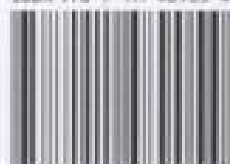


地址：北京市百万庄大街22号
邮政编码：100037
电话服务
服务咨询热线：010-88361066
读者购书热线：010-68326294
010-88379203
网络服务
机工官网：www.cmpbook.com
机工官博：weibo.com/cmp1952
金书网：www.golden-book.com
教育服务网：www.cmpedu.com
封面无防伪标均为盗版



机械工业出版社微信服务号

上架指导 工业技术／数控
ISBN 978-7-111-48905-4
策划编辑◎徐明煜



定价：59.90元